

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA

Institut environmentálního inženýrství

**VYUŽITÍ FLOTACE PŘI KONCENTRACI VYBRANÝCH
KOVŮ Z ODPADNÍCH MATERIÁLŮ**

Use of flotation for concentration selected metals from the waste
materials

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Pavel Frýza

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jaroslav Závada, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Frýza**

Studijní program: N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 3904T022 Zpracování a zneškodňování odpadů

Téma: **Využití flotace při koncentraci vybraných kovů z odpadních materiálů**
Use of flotation for concentration selected metals from the waste materials

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Možnosti a metody získávání kovů z odpadních materiálů
- 3) Flotační testy
- 4) Vyhodnocení flotačních testů
- 5) Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

ZÁVADA, J., BOUCHAL, B.: Chemické metody zpracování nerostných surovin a odpadů. ES VŠB-TU Ostrava, 2010

KMEŤ, S.: Flotácia. Alfa Bratislava, 1983

KŘÍŠTOFOVÁ, Dana. Recyklace ušlechtilých kovů. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2001. 100 s. ISBN 80-7078-939-5

WILLS, B., A. a T., J. NAPIER-MUNN: Mineral Processing Technology. Oxford: Elsevier, 2006. 7. ISBN 978-0-7506-4450-1.

Nguyen, A., V., Schulze, H., J: Colloidal science of flotation. Marcel Dekker, Inc., New York, 2004, ISBN 0-8247-4782-8.

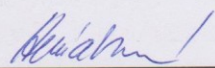
Odborné články z databází SCOPUS, Web of Science a ScienceDirect

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

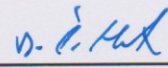
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslav Závada, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.
vedoucí institutu

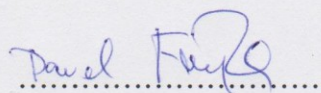



prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.
pověřený vedením fakulty

PROHLÁŠENÍ

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution – NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 28. 4. 2017



Bc. Pavel Frýza

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jaroslavu Závadovi, Ph.D., pod jehož vedením jsem postupně dokončoval tuto práci, za doporučení, připomínky, odbornou pomoc a obohacující konzultace, za vstřícnost a pochopení. Rád bych touto cestou poděkoval také svému kolegovi Ing. Janu Kubečkovi za podporu a cenné rady. Poděkování patří také mé rodině, za soustavnou podporu, po celou dobu mého studia.

Anotace

Diplomová práce se v teoretické části zaměřuje na popis vybraných kovů, kterými jsou v tomto případě zlato, stříbro, měď a zinek a také na místo, odkud byla struska pro potřeby této práce zajištěna. V experimentální části jde o dokumentaci flotačních pokusů provedených na půdě VŠB-TUO, za účelem zvýšení obsahu vybraných kovů v koncentrátu získaném díky procesu flotace. V závěru práce bude provedeno porovnání úspěšnosti jednotlivých testů a také porovnání nabohacení jednotlivých prvků. Jednotlivé flotační testy z této práce budou, pro názornost, porovnány s jinými pracemi zabývajícími se podobným tématem.

Klíčová slova: flotace, struska, zlato, měď, stříbro, zinek

Summary

The theoretical part of this thesis is focused on characterization of chosen metals, which are gold, silver, copper and zinc in this case, then on the place, where the slag was taken for the needs of the thesis. The experimental part describes flotations, which were made in laboratory of VŠB-TUO. The purpose was to increase the content of chosen metals in concentrate obtained by the process, which is called flotation. The conclusion will contain the comparison of success of tests, which were made and comparison of enrichment of chosen metals. Individual tests could be compared with other thesis, which dealt with similar topic.

Keywords : flotation, gold, silver, copper, zinc, slag

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Cíl práce	2
2	Teoretická část	3
2.1	Získávání neželezných kovů	3
3	Popis kovonosných odpadů	4
3.1	Strusky po těžbě kovových materiálů	5
3.2	Markovičky – odval po těžbě kovových materiálů na Kutnohorsku	6
4	Kutná Hora – základní informace.....	7
4.1	Stručná historie dobývání kovových rud na Kutnohorsku	7
4.2	Geomorfologické poměry na Kutnohorsku.....	7
5	Proces flotace.....	10
5.1	Hlavní výhoda flotace	11
5.2	Fázové složení při flotaci	11
5.3	Význam flotačních reagensů.....	12
5.3.1	Sběrače.....	13
5.3.2	Ostatní flotační reagenty	14
6	Popis zkoumaných kovů.....	15
6.1	Zlato	15
6.2	Stříbro.....	17
6.3	Měď	19
6.4	Zinek	21
7	Využití flotace při získávání vybraných kovů.....	23
8	Experimentální část	27
8.1	Úprava vzorku pro proces flotace	27

8.2	Analýza vzorků	28
8.3	Metodika flotačních testů	28
8.4	Provedení flotačních testů	29
8.4.1	Flotační pokus č. 1	30
8.4.2	Flotační pokus č. 2	33
8.4.3	Flotační pokus č. 3	36
8.4.4	Flotační pokus č. 4.....	39
8.4.5	Flotační pokus č. 5	42
8.4.6	Flotační pokus č. 6	44
8.4.7	Vyhodnocení flotačních testů	46
8.4.8	Srovnání výsledků.....	57
9	Závěr	60
	Seznam použitých zdrojů	62
	Seznam použitých zkratek	69
	Seznam obrázků	70
	Seznam tabulek	72

1 Úvod

V České republice je v současnosti situace taková, že mimo těžbu na uranových ložiscích, se již žádné rudné suroviny na našem území netěží. Pokud se jedná o zásoby, jeden z mála kovů, jehož zásoby nejsou z drtivé většiny vytěženy, je zlato. V blízké budoucnosti se o nové těžbě rudných surovin neuvažuje, jelikož by se to těžebním společnostem, při nákladech na těžbu, zkrátka nevyplatilo. Ušlechtilé, železné i neželezné kovy jsou k nám dováženy ze zahraničních států. Další možností je také získávání kovů z druhotných surovin. Získávání kovů z odpadních materiálů vyžaduje komplexnější přístup, zejména při volbě vhodných úpravnických metod, aby bylo dosaženo co nejefektivnějších výsledků. [1] [2]

V oblasti znovuzískávání kovů z odpadních materiálů je třeba zaměřit se na více aspektů. Je třeba zajistit, aby pokusy o navýšení kovového koncentráту byly přijatelné z hlediska dopadu na životní prostředí a také z ekonomického hlediska. Také je třeba se již v přípravné fázi zaměřit na kovy, které by se mohly v těchto materiálech objevovat ve zvýšených koncentracích, aby byl výzkum přínosný.

Ve vyspělých světových zemích jsou technologie zabývající se získáváním kovů z odpadních materiálů v popředí zájmů. V dnešní době není zdaleka jednoduché získat potřebné množství užitkové suroviny za akceptovatelnou cenu. Z tohoto důvodu se stále zdokonalují technologie a vymýšlejí se nové postupy v tomto odvětví. [2]

1.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je provedení flotačních testů za účelem co nejvyššího nabohacení vybraných prvků do získaných koncentrátů a následné porovnání účinnosti jednotlivých flotačních sběračů na vybrané kovy. Zkoumanými prvky jsou konkrétně stříbro, zlato, měď a zinek.

2 Teoretická část

Tato část mé diplomové práce bude zaměřena na teoretické znalosti v oblasti získávání a zpracování neželezných kovů. V jednotlivých kapitolách bude postupně popsána historie těžby jednotlivých kovů, jejich charakteristika a také lokalita, ze které je zpracováván vzorek strusky, se kterým bylo v tomto případě nakládáno. V neposlední řadě se bude práce zabírat poznatky o procesu flotace, jenž tvoří základ této práce.

2.1 Získávání neželezných kovů

Kvůli útlumu těžby na našem území se tato kapitola bude zabývat zejména historií těžby neželezných kovů, jejich charakteristikou a vlastnostmi. Dále se zde zaměříme na možnosti získávání této skupiny kovů.

První podložené informace o cílené těžbě kovů pocházejí z Egypta a datují se do vzdálené minulosti, přibližně do doby před 6000 lety. Jedná se konkrétně o těžbu minerálu známého jako malachit, což je ve své podstatě uhličitán mědi s OH skupinou. Staří Egypťané jej zpracovávali v šachtových pecích. Tyto pece byly vysoké asi jeden metr. První zmínky o výrobě mosazných výrobků jsou datovány přibližně do období před cca 4000 lety. Tavení oxidických měděných a cínových rud umožnilo přípravu cínového bronzu dokonce již před 5000 lety. Postupem času se s rozvojem civilizace začaly těžit i další kovy, např. stříbro (Ag), zlato (Au) a měď (Cu). [3]

Zkušenosti, dovednosti, technologické postupy v odvětví zpracování kovových materiálů byly utajovány a předávány z generace na generaci. Sloučeniny jako jsou stříbro a měď bylo možné získat díky vývoji technologických postupů, zejména díky tomu, že v peci bylo možno vyvinout teplotu okolo 1100 °C, což je poměrně nízká teplota vhodná pro získávání kovů s nízkou teplotou tání. [4]

V současnosti se při nakládání s neželeznými kovy využívají hydrometalurgické procesy, které jsou součástí také při bakteriálním loužení. Díky tomuto procesu lze ze suroviny získat jak sloučeniny jednotlivých kovů, tak, za použití dalších technologií, čisté kovy samotné. Moderní úpravnické metody umožňují v určitých případech také získávání kovových koncentrátů, případně čistých kovů z kovonosných minerálů obsažených v zemské kůře. [4]

3 Popis kovonosných odpadů

Od doby, kdy byly kovy objeveny, se staly nedílnou součástí lidské společnosti. Postupem času se pro potřebu výroby kovových předmětů stávají hlavním zpracovávaným a dobývaným artiklem v těžkém průmyslu (např. hornictví, hutnictví). V průběhu 20. století se postupně hutnictví stává jedním z nejdůležitějších kovozpracujících procesů. Je tomu tak také kvůli výrobě techniky a zbraní využívaných ve světových válkách probíhajících právě v první polovině 20. století. Není žádným překvapením, že v tomto období, vzniklo obrovské množství odpadů s obsahem železných i neželezných kovů. Díky vlastnostem, jež většina odpadů z hutnictví vykazuje, je teoreticky možné jejich opětovné využití.

Obecně lze konstatovat, že technologie, které v současné době umožňují zpracovávání odpadů vzniklých během metalurgických procesů, jsou poměrně finančně a také technicky náročné. Zda jsou tyto odpady vhodné k dalšímu využití, za účelem získání kovů, se musí stanovit rozbořem složení a zejména zjištěním podílu kovonosných a struskotvorných složek.

Rozdělení odpadů podle obsahu kovonosných a struskotvorných složek:

- Odpady obsahující nízký podíl struskotvorných složek (odpady vzniklé např. při obrábění),
- Odpady obsahující střední podíl struskotvorných složek,
- Odpady obsahující vysoký podíl struskotvorných složek (strusky, kaly). [5]

Kovonosné odpady jsou produktem, který vzniká po ukončení činnosti metalurgického průmyslu. Dvě základní skupiny, které zde rozlišujeme, jsou železné a neželezné kovy. V metalurgii se k získání kovů z rud využívá několika procesů. Jedná se zejména o žárové či mokré procesy nebo lze při této produkci využít také elektrický proud. [5]

V hydrometalurgii, neboli mokřím procesu, se využívá bakteriální a chemické loužení. Žárový proces, který můžeme také nazvat pyrometalurgie, je charakteristický využitím pražení a tavení. Získávání kovů za pomoci elektrického proudu – elektrometalurgie je založen na využití procesů, jakými jsou zejména elektrolýza a elektrolytická rafinace. Při získávání neželezných kovů je možno vybrat si z těchto

technologických postupů ten nejvhodnější dle situace, avšak při získávání železa jsme odkázáni vždy pouze na pyrometalurgii. [5]

Odpad, který vzniká při výrobě kovů, není vždy pouze v pevném skupenství. Při těchto technologiích se vytvářejí odpady s podílem toxických kovů, nejrůznějších sloučenin těchto kovů a také jiné organické a anorganické látky i v plynné a kapalně formě. Jedná se např. o oxid uhelnatý (CO) a oxid siřičitý (SO₂). [6] [7]

3.1 Strusky po těžbě kovových materiálů

Strusky, vznikající při pyrometalurgickém zpracování neželezných kovů se vyznačují především svou tvrdostí a pevností. Zejména díky těmto vlastnostem nalézají uplatnění v mnoha různých průmyslových odvětvích. Nejvíce využívané jsou v současné době pravděpodobně jako zásypový materiál při úpravách vozovek. Přidávají se také jako součást do betonových směsí. Dle složení se jedná o směsi kovových a nekovových prvků, které mohou navzájem chemicky reagovat a vytvářet sloučeniny. Vyznačují se menším obsahem kovů, plynů, oxidů či sulfidů a dalších látek. [8]

Působením chemických, fyzikálních a chemicko-fyzikálních reakcí při hutnických procesech se vytvářejí plyny, strusky, kovy, kamínky atd. Všechny tyto složky od sebe musí být zvlášť odseparovány. Je třeba všechny tyto části i jejich odpady co nejdokonaleji zpracovat a znovu využít, ovšem opět s ohledem zejména na ekologické hledisko. [8]

Strusky je možno rozdělit do tří základních skupin:

1. strusky kyselé – zde převládá obsah SiO₂, Fe₂O₃ a Al₂O₃,
2. strusky zásadité - vyšší obsah FeO, CaO, MgO,
3. strusky neutrální – stejný poměr výše uvedených složek.

Pyrometalurgicky zpracovávané rudy samozřejmě neobsahují jen požadované minerály, ale také různé nečistoty a jalovinu, které je třeba oddělit. Zjednodušeně se dá říci, že strusky vznikají právě za účelem nahromadění odpadních složek zpracovávaných surovin. [8], [9]

Mezi nejdůležitější evidované vlastnosti u strusky můžeme zařadit např. její hustotu, elektrickou vodivost, teplotu a dobu tavení, chemickou aktivitu a viskozitu. [10]

3.2 Markovičky – odval po těžbě kovových materiálů na Kutnohorsku

Pro výzkum, prováděný v mé diplomové práci, jsem získal vzorek materiálů z odvalu Markovičky, jenž se nachází nedaleko stejnojmenné osady v údolí řeky Bylanky.

V okolí v minulosti fungovalo, podle dochovaných materiálů, 5 hutí. Byly zde také ságrovny mědi, kde se zpracovávala černá měď, jež obsahovala 1-2% stříbra. Výroba mědi, coby vedlejšího produktu při získávání stříbra, v minulosti patrně nikdy nepřesáhla lokální význam.

Dle dostupných informací obsahuje tato železnato-křemičitá struska celou řadu, z ekonomického hlediska, zajímavých kovů. V případě odvalu Markovičky se jedná např. o stříbro, olovo, měď, zinek, cín a železo. Je ovšem pravdou, že ani v dnešní době, s vyspělými technickými postupy, není jednoduché tyto kovy z daného materiálu získat. Zmíněné materiály se ve strusce objevují především ve formě silikátů, méně často pak ve formě oxidů. Minerální část odvalu tvoří zejména hematit a křemen, v daleko menším měřítku zde můžeme nalézt stopy sfalerity, či pyritu, zřídka také kovovou měď.

Běžné atmosférické vlivy a jejich působení na odvaly mívají za následek tvorbu povlaků na jejich površích. Zbarvení bývají různá, dle obsažených minerálů. Jako příklad můžeme uvést modrozelený odstín minerálů mědi nebo limonitové zbarvení dorezava, případně můžeme pozorovat drobné jehličky tvořené sádrovcem. [13] [16]

4 Kutná Hora – základní informace

V této kapitole se pokusím stručně popsat historii a geomorfologické poměry v tomto regionu. Jak jsem již zmínil v předchozí kapitole, zkoumaný vzorek strusky pochází právě z Kutné hory a zejména proto bych rád věnoval jednu kapitolu i informacím tohoto typu.

4.1 Stručná historie dobývání kovových rud na Kutnohorsku

Historie dolování, zejména stříbrné rudy, na Kutnohorsku sahá již do 10. století. Od 13. století lze proces dobývání kovů označit jako těžbu. Na přelomu 13. a 14. století se zde denně těžilo i více než 50 kg čistého stříbra.

Období husitských válek zapříčinilo útlum těžby v této lokalitě a dokonce zavalení některých dolů. Na konci 15. století zaznamenalo dobývání kovů opět mírný vzestup, avšak nedosáhlo již takového významu jako předtím.

Nedokonalá technika a čím dál tím větší hloubka dobývaných materiálů zapříčinila další útlum těžby na Kutnohorsku znovu v polovině 16. století. Neblahý vliv na těžbu v tomto regionu měla také třicetiletá válka. Přibližně od tohoto období bylo provedeno několik pokusů o obnovení těžby. Naposledy mezi lety 1904 a 1905. Do roku 1991 se zde prováděla těžba olovených, měděných a zinkových rud. Roku 1992 byla těžba definitivně ukončena. Za dobu, kdy zde probíhalo dobývání kovových materiálů, evidujeme přibližně 100 000 t vytěžené mědi a cca 2000 t stříbra.

Odpad, vznikající při tavbě rudy v okolních pěti hutích, byl příčinou vzniku strusek v této oblasti. [11] [12] [13] [14] [15]

4.2 Geomorfologické poměry na Kutnohorsku

Město Kutná hora zaujímá plochu o rozloze více než 33 km² ve Středočeském kraji. K dnešnímu datu čítá více než 20 000 obyvatel. Leží v nadmořské výšce 254 m n. m.

Kutnohorský rudní revír se rozkládá na území o rozloze přibližně 3x9 km. Téměř ve středu této oblasti se nachází historické centrum města. Geologické podloží je zde ovlivněno zejména usazenými horninami z období křídý, terciéru a kvartéru, které se vrství na složitě provrásněných krystalických břidlicích kutnohorského krystalinika. Krystalinikum je možno rozdělit do následujících třech skupin:

- svrchní malínská,
- střední kutnohorská,
- spodní šternbersko-čáslavská.

Malínská skupina je tvořena zejména dvojslídnyými až biotitickými rulami, centrálními migmatity a spodními migmatizovanými dvojslídnyými ortorulami.

Kutnohorskou skupinu tvoří svory, ruly, migmatity, ortoruly, centrální migmatity a také spodní migmatizované ruly.

Šternbersko-čáslavskou skupinu tvoří svorová a dvojslídňá rula, mramory, eklogity, migmatity s amfibolitovými vložkami, skarny a erlany.

Pro kutnohorské rudní žíly je typická polymetalická mineralizace a kyzová ložiska polymetalických rud s křemenokarbonátovou žilnou výplní. Hydrotermální zrudnění se utvářelo již v období karbonu a navazuje na centrální moldanubický pluton, přesněji na jeho severní část. [11] [12] [13] [14] [15] [30]

Kutnohorský rudní revír lze rozdělit do několika pásem (Tabulka 1), která tvoří struktury různých řádů. Dohromady se uvádí mezi až dvacet rudních pásem, avšak pouze u sedmi můžeme hovořit o jejich větším těžebním významu. Stěžejním měřítkem pro dělení pásem je jeho příslušnost k již zmíněným skupinám krystalinika. Dělí se na pásma kyzová, stříbrná nebo smíšená.

Pásma kyzová bývají mocnější, nalézá se zde větší množství rud, avšak obsah stříbra zde není tak vysoký. To se zde nachází v menším množství zejména v sulfidech železa, mědi, zinku, olova či arzenu. Na rozdíl od pásma kyzového můžeme na pásmech stříbrných získávat stříbro z minerálů, jako jsou např. tetraedrit, freibergit či galenit. [30]

Tabulka 1 - rozdělení pásem [30]

žilné pásmo	délka (km)	hloubka dobývek (m)*	typ zrudnění	získáno tun Ag
Staročeské	3	450	kyzové	300
Oselské	2,5	450	stříbrné	250
Turkaňské	2	550	kyzové	150
Grejfské	1,7	300 (500)	smíšené	250
Rovinské	2,5	250	stříbrné	200
Rejské	2	450	smíšené	100
Kuklické	1	80 (150)	smíšené	60
Gruntecko-hloušecké	3	160 (170)	kyzové	25
Skalecké	1,3	100 (250)	smíšené	2,5
Nifelské**	1,4	150	kyzové	2
Alžbětino**	0,8	100	kyzové	7
Šipecké**	1	100	kyzové	2
Poličany	0,3	100	stříbrné	2
Bílejov	0,1	95	stříbrné	1
Křesetice	0,3	100	stříbrné	0,5
Sukovské**	0,6	80	kyzové	0,5

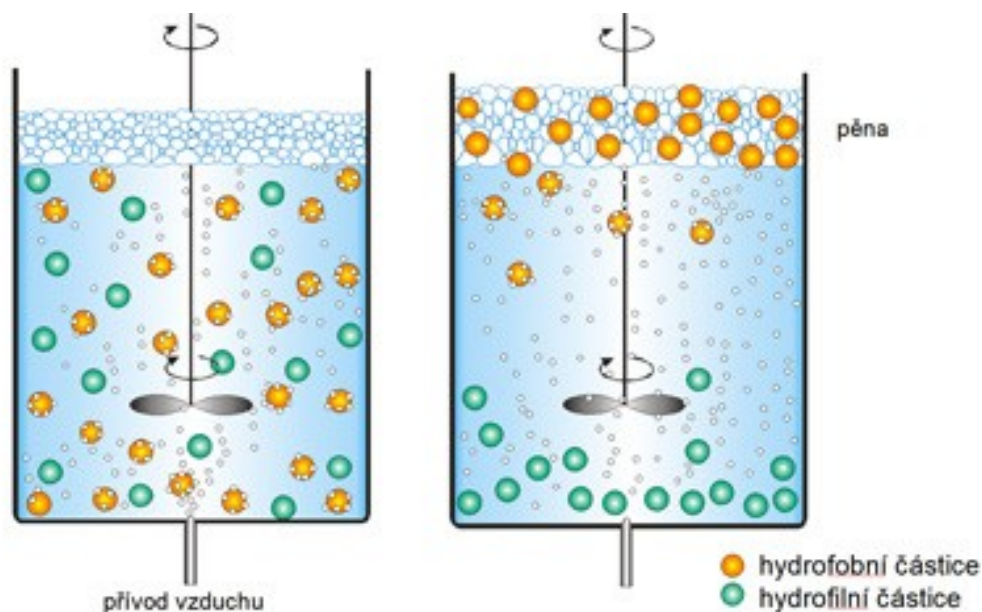
* V závorce je maximální hloubka

** Tradiční názvy, ve skutečnosti pouze soubory drobných žilek

Co se týče ekologických aspektů, je třeba zmínit, že některé odvaly jsou již v dnešní době, alespoň částečně, rozvezeny nebo do určité míry zarostlé vegetací. Sklovitá hmota, tvořící tyto haldy má stále vysoký obsah kovů, ale velice pomalu dochází k jejímu rozložení, či zvětrávání. Prvními organismy, jež se na těchto místech vyskytují, jsou mechy a lišejníky. V takto připraveném podloží se poté mohou přichytit semínka leckterých tzv. pionýrských dřevin, např. dubu letního nebo břízy bělokoré. V důsledku opadávání listů těchto stromů se zde vytváří tenká vrstva podkladu, ve kterém se daří rostlinám, jako jsou kupříkladu vřes obecný, mateřídouška obecná nebo rozchodníky. Po osídlení rostlinami se zde můžeme setkat také s některými zástupci živočišné říše. V našem případě zejména s ještěrkou obecnou a různými hmyzími druhy – čmeláci, sarančata. [13]

5 Proces flotace

Proces flotace (obrázek 1) je základem veškerých mnou provedených pokusů v rámci této práce. V posledních letech se jedná o velice rozšířený způsob, jakým lze získávat, nejen, kovy z odpadních materiálů.



Obrázek 1 - proces flotace [21]

Z dostupných informací vyplývá, že procesem zvaným flotace se za rok upraví okolo $2 \cdot 10^9$ t surovin. Jak již bylo zmíněno, flotaci lze využít při získávání drobných částic kovů, ať už železných, neželezných či ušlechtilých. Zajímavé jsou ovšem i další možnosti využití této technologie jako např. oddělování plastů a olejů nebo separace těžkých kovů z odpadních vod, popř. odstranění tiskařské barvy z papíru určeného k recyklaci. [17] [18]

Základem flotace jsou rozličné fyzikálně-chemické vlastnosti na površích jednotlivých minerálních zrn vstupujících do tohoto procesu a také odlišné povrchové energie daných minerálů. Určité minerály spolu se vzduchovými bublinami vyplouvají na hladinu flotačního rmutu, kde vytvářejí hustou mineralizovanou pěnu, zatímco zbylé částice klesají a usazují se na dně. Jedním z nejdůležitějších fragmentů flotace je velikost bublin v takto vytvořené pění. V případě, že jsou bubliny moc velké, zvyšuje se riziko jejich prasknutí a následná ztráta minerálu vynášeného do pěny. [19] [20] [21]

Nejčastěji používaná je v současnosti tzv. pěnová flotace. Při tomto procesu jsou do rmutu vháněny plynové bublinky (nejčastěji vzduchové), na které se přichytávají rozemletá zrnka daného materiálu a následně tvoří požadovanou pěnu, jejímž prostřednictvím jsou vynášeny na hladinu. [22] [23]

Mezi další typy flotací, které se ve světě používají, lze zmínit např. filmovou, chemickou, vakuovou, iontovou, olejovou či elektroflotaci. [22]

5.1 Hlavní výhoda flotace

Jednou z velkých výhod flotace, oproti ostatním rozduřovacím metodám, je její schopnost zachycovat prakticky i ty nejmenší částičky užitkových složek veškerých flotovaných nerostných surovin. Dříve, než byla tato technologie zavedena, byla většina takto malých částiček ukládána do odpadu, zejména na odvaly. S příchodem flotace se tedy otevírá možnost znovu zpracovávat materiál z těchto odvalů, za účelem získání užitkové složky, která se v minulosti považovala za již vytěženou a její množství vyvážené na haldy za zanedbatelné. [22]

Jedná se o fyzikálně-chemický proces, jenž je ovlivněn velkým množstvím faktorů, které následně určují výsledek jednotlivých flotačních pokusů. Zde můžeme uvést například typ jednotlivých minerálů, čistota a složení vody, chemické složení a vlastnosti přidaných flotačních reagentů a v neposlední řadě také kvalitu provzdušnění rmutu. Upravovat a přizpůsobovat vlastnosti minerálních povrchů můžeme právě pomocí flotačních reagentů. Díky těmto látkám jsme schopni vytvořit příhodné podmínky k oddělování potřebných minerálních složek. [22] [24]

5.2 Fázové složení při flotaci

Za „základní stavební kámen“ flotace se považuje zachytávání se zrn na povrchu fázového rozhraní dvou fází. [22]

V současné době je tento děj vysvětlován schopností minerálních zrn přichytávat se na rozhraní vzduch – voda, a to v závislosti na tzv. smáčitelnosti povrchu minerálu vodou, popřípadě jinou kapalinou. V případě, že je minerální povrch hůře smáčitelný vodou, flotuje se lépe (snadněji stoupá spolu se vzduchovými bublinami do

pěny). V opačném případě, tedy je-li povrch minerálu dobře smáčitelný, stává se hůře flotovatelným (klesá do odpadní složky na dno flotační cely). [22]

Princip flotace je ovlivněn ději, jež se odehrávají na rozhraní těchto tří fází:

- kapalná fáze (nejčastěji voda),
- plynná fáze (vzduch vháněný do flotační cely),
- tuhá fáze (zrna jednotlivých minerálů).

Tuhou fází v prostředí flotačních procesů ovlivňuje více faktorů. Jako jeden z nejčastěji zmiňovaných je možno uvést chemické složení daných minerálů nebo také podmínky vzniku a typ vazebních sil, což ovlivňuje flotační vlastnosti minerálů. [24] [25]

U kapalně fáze se lze zaměřit zejména na vlastnosti vody, která je nedílnou součástí drtivé většiny všech flotačních pokusů. Jedná se zejména o vytváření a udržení hydratační vrstvy na fázovém rozhraní voda – vzduch a voda – minerál. [24] [25]

Plynná fáze je zastupována obvykle vzduchem. Provádět pokusy lze ovšem také s jinými plyny, jakými mohou být například kyslík, oxid siřičitý nebo sulfan. Díky vhánění plynu do flotační cely lze docílit toho, že se hydrofobní zrna přichytí na vytvořené bublinky a stoupají vzhůru do pěnového produktu na hladinu. [24]

5.3 Význam flotačních reagensů

Přínos flotačních reagensů při procesu flotace je obrovský. Dá se říci, že jejich vstup do tohoto procesu je nejdůležitější a nedílnou součástí každého pokusu. Samozřejmě záleží i na dalších podmínkách, kterými jsou například ideální provzdušnění a velikost zrn. Tyto reagenty dokážou zásadně ovlivnit flotaci zejména změnou povrchové energie fázového rozhraní mezi tuhou a kapalnou, a také mezi plynnou a kapalnou složkou. Touto změnou fázového rozhraní dochází následně také ke změně flotovatelnosti jednotlivých minerálních zrn. Ovlivněna je tímto i vytvářená pěna, kde můžeme pozorovat rozdílný počet a také velikost vzduchových bublinek.

Reagenty lze rozdělit do více skupin dle jejich původu na organické a anorganické. Dále dle skupenství, na kapaliny a pevné látky. Při jejich reakci s vodou jsou zaznamenány látky, jež vytváří pravý roztok, látky vytvářející koloidní roztok nebo také emulzi a drobné kapky. Reagenty ovlivňující rozhraní kapalina-pevná látka dělíme na

skupiny sběračů, řídících flotačních reagentů - depresorů, aktivátorů a modifikátorů. Skupinu reagentů ovlivňujících rozhraní plyn-kapalina označujeme jako pěniče. [22] [26] [27]

Při dávkování flotačních reagentů je velice důležité zachování jejich přesného pořadí. Nejprve do flotační cely dávkujeme aktivátory nebo depresory. Následují sběrače, které mají za úkol udržet potřebnou hydrofóbnost daných složek v roztoku a tím zajistit základní efekt flotace. Jako poslední přidáváme pěnič, s cílem vytvořit hustou mineralizovanou pěnu na hladině. [22] [24]

5.3.1 Sběrače

Jedná se o skupinu organických látek zvyšujících, či dokonce vyvolávajících hydrofóbnost povrchů jednotlivých minerálních zrn, čímž zvyšují míru jejich flotovatelnosti. Tímto se docílí efektu přichycení zrn na vzduchové bubliny, což splňuje hlavní podstatu flotace. Sběrače lze rozdělit na dvě hlavní skupiny. Těmi jsou neionogenní (oleje, petrolej) a ionogenní sběrače, které následně dělíme na anionaktivní a kationaktivní. [22]

Přidání anionaktivních sběračů se využívá při flotaci neželezných a ušlechtilých kovů, karbonátů a sulfátů mědi a olova, sulfidických minerálů a také uhličitánových minerálů. Jako hlavní zástupce skupiny anionaktivních sběračů je třeba uvést tzv. xantogenany. Toto označení se vžilo pro soli xantogenové kyseliny. Jejich dobrá rozpustnost ve vodě a sběrací schopnost při flotaci neželezných kovů a sulfidů je řadí na přední příčky, co do využívání. [22]

Při flotaci silikátových minerálů, draselných a sodných solí nebo např. křemene se využívají kationaktivní sběrače. Zejména aminy a jejich soli. Vzorec jejich struktury je možné získat nahrazením atomů vodíku, ve vzorci amoniaku, alkylovou nebo arylovou skupinou. Dle počtu nahrazených atomů poté rozlišujeme primární, sekundární a terciární aminy.

V případě mých flotačních pokusů, prováděných právě v rámci této diplomové práce, byly zvoleny sběrače zastupující všechny výše zmíněné skupiny. Neionogenní sběrače zde zastupuje tzv. pimentovníkový olej, který je svým složením velice podobný oleji eukalyptovému. Z důvodu jeho složení se v tomto případě jevil jako vhodnější

varianta. Anionaktivní sběrače jsou zastoupeny látkou známou jako isopropylxantogenan sodný (IPXS) a kationaktivní sběrače zastupuje oktaDECylamin (ODA). Více informací, týkajících se těchto vybraných flotačních reagensů bych rád uvedl v předposlední kapitole věnované zkoumání vhodných látek pro připravované flotační pokusy.

5.3.2 Ostatní flotační reagence

V této podkapitole bych rád stručně popsal, mimo sběračů, ostatní flotační reagence, jakými jsou zejména pěniče, aktivátory a depresory.

V případě pěničů hovoříme o organických heterogenních sloučeninách, které snižují povrchové napětí na fázovém rozhraní kapalina – plyn. Jejich úkolem je také zefektivnění procesu vytváření vzduchových bublinek, následně také brání jejich slévání a ovlivňují i pevnost takto vytvořených bublinek, díky nimž následně vzniká mineralizovaná pěna na hladině, která je díky přítomnosti pěničů v roztoku hustější a stabilnější. Celková kvalita provzdušnění rmutu se zvyšuje také díky přidání vhodných pěničů. [28] [29]

Mezi nejvíce používané pěniče v poslední době patří povrch aktivující heteropolární látky, mezi které lze zařadit například borovicový nebo eukalyptový olej, ale také jiné látky, jako třeba xylenol nebo PEG 600.

Jestliže se rozhodneme při flotaci využít tzv. řídicích flotačních reagensů, máme tím na mysli již výše zmíněné aktivátory (oživující reagence), depresory (potlačující reagence) a modifikátory (modifikující reagence).

Jedná se o organické, či anorganické látky, jež mají za úkol buďto umocnit schopnost sběrače přichytit se na povrch flotovaných minerálů a zvýšit tím účinnost flotace v případě aktivátorů, nebo naopak potlačit schopnost flotovat se u jiných minerálních zrn, což způsobuje přidání depresorů do roztoku. Reagence modifikující nám slouží například k úpravě pH prostředí. Zároveň ovšem mohou samy průběh flotace ovlivnit svým, mnohdy poměrně silným, oživujícím nebo potlačujícím účinkem.

6 Popis zkoumaných kovů

V této kapitole bych se chtěl věnovat představení kovů, které byly sledovány při provedených flotačních testech, za účelem jejich nabohacení do koncentráту. Půjde zejména o popis jejich vlastností, využití a výskytu ve světě.

6.1 Zlato

Zlato (Obrázek 2), latinsky *Aurum* (Au), již několik tisíc let ovlivňuje historii lidstva. První prozkoumané předměty ze zlata pocházejí z období kolo 4000 let př. n. l. Díky jeho vlastnostem, které umožňují relativně snadné opracování, jsou z tohoto kovu vyráběny nejrůznější šperky, ozdoby, sošky či jiné předměty. Později byly pozlacovány nejen tyto předměty, ale také obrovské sochy a monumenty, či chrámy. V historii se setkáváme se zlatem jako platidlem, ale také jako s ceněným a vzácným zbožím. V dnešní době je zlato součástí drtivé většiny elektroniky, jakou jsou např. počítače, tablety nebo mobily. U těchto přístrojů se jedná o opravdu minimální množství obsaženého zlata, které ale vylepšuje zejména vodivost daných součástek. Své využití nachází zlato také v lékařství, přesněji ve stomatologii. Zde se využívá primárně k výrobě zubních náhrad a můstků. Odhaduje se, že na konci 20. století se v zubním lékařství ročně spotřebovalo až 70 t zlata. [41] [42]



Obrázek 2 – zlato [46]

Jedná se o ušlechtilý, žlutě zbarvený kov. Vykazuje velmi dobré tepelné i vodivé vlastnosti. Navíc o zlatu můžeme hovořit jako o poměrně měkkém a tedy dobře zpracovatelném kovu. Vyznačuje se také vysokou kujností a tažností. Je známá jeho chemická odolnost, nenarušují jej zásady ani kyseliny. Rozpustit lze ovšem v tzv. lučavce královské. Zlato má vysokou hustotu ($19\,320\text{ kg/m}^3$) a řadí se mezi těžké kovy. Je více než dvojnásobně těžší než železo. Zajímavostí potom je, že pomyslná hrana krychle zlata, o váze jedné tuny, by měřila pouze 37,27 cm. [42] [43]

V přírodě se objevuje pouze v malé koncentraci. Průměrně jde o 0,005 g/t, což je oproti ostatním kovům opravdu pouhý zlomek. Pokud jde o srovnání, stříbro se vyskytuje v průměrné koncentraci 0,7 g/t. Často se shlukuje do mohutnějších forem a zejména toto je důvod, proč se nachází ve zlatonosných ložiscích v daleko vyšší koncentraci, než v ostatních oblastech. Čisté zlato lze najít pouze zřídka. V minerální formě se vyskytuje téměř vždy s určitým množstvím příměsí. Jedná se například o stříbro, měď, platinu nebo rtuť. Zlato také můžeme nalézat v minerálech. Jsou jimi: [44] [45]

- sylvanit - Au_2Te_4 ,
- calaverit - AuTe_2 ,
- petit - Ag_3AuTe_2 .

Na světě se zlato vyskytuje a těží téměř na všech kontinentech. V minulosti byly za největší producenty zlata považovány státy jako JAR, USA nebo Austrálie. Tyto státy jsou stále na pomyslné špici, co do těžby zlata, ovšem v současné době (již od roku 2007) je na prvním místě v tomto odvětví Čína. Dalšími státy s četnými zlatými ložisky jsou např. Rusko, Uzbekistán či Mexiko. [46]

I na území České republiky se v minulosti zlato dobývalo. Nejstarší předmět ze zlata z Čech je přibližně 3700 let starý. Z českého zlata je také vyrobena koruna českých panovníků. Co se týče bývalých oblastí těžby na našem území, jedná se o lokality, jako jsou např. Kašperské Hory, kde byl na přelomu 80. a 90. let minulého století opět prováděn průzkum podloží. Ložisko obsahuje zlatou rudu, ale bohaté je i na wolfram. Samotnou těžbu komplikuje jeho umístění. Leží totiž v ochranném pásmu národního parku Šumava. Z dalších významných ložisek je třeba zmínit také Zlaté Hory v okrese Jeseník nebo ložisko Roudný u Vlašimi. [47]

Základní chemicko-fyzikální vlastnosti zlata:

Tabulka 2 - základní chemicko-fyzikální vlastnosti Au

Chemická značka	Au
Atomové číslo	79
Relativní atomová hmotnost	196,966 amu
Elektronegativita	2,4
Tvrdost (Mohsova stupnice)	2,5
Teplota varu	2808°C

6.2 Stříbro

Stříbro (Obrázek 3), latinsky *Argentum* (Ag), je nejhojněji využívaný ušlechtilý kov. Jako drahý kov pro výrobu mincí a šperků funguje již stovky let, ovšem s pokrokem techniky se jeho vlastností začalo využívat i v jiných technických oborech. Například je velmi důležitou surovinou pro elektrotechnický průmysl, své zastoupení najde samozřejmě i v průmyslu chemickém, či medicíně. Naopak na ústupu je jeho využití v průmyslu fotografickém. Zde je stříbro nedílnou součástí při procesu vyvolávání filmu. Může za to obrovské rozšíření digitálních fotoaparátů, které umožňují uchování fotografií v digitální podobě, v posledních letech. [38]



Obrázek 3 – stříbro [40]

Typický pro stříbro je jeho kovový lesk a bílá barva, jež je na povrchu pokryta hnědým, až černým zbarvením. To způsobuje sulfan neboli, dle starší terminologie,

sirovodík (H_2S), který je obsažen v atmosféře. Právě díky jeho reakci se samotným stříbrem vzniká sulfid stříbrný (Ag_2S). Charakteristickými vlastnostmi pro stříbro jsou jeho tažnost a kujnost. Z tohoto důvodu jej lze vypracovat do formy až několik km dlouhých drátků, či plíšků. Je to výborný elektrický i tepelný vodič. Známe jsou také jeho antibakteriální účinky. [38]

Na rozdíl od jiných drahých kovů se stříbro na naší planetě vyskytuje častěji, a tudíž je jeho tržní cena, oproti těmto kovům, nižší. V místech výskytu stříbra se nalézají také další kovy, jakými jsou například zlato, měď, rtuť, bismut a antimon. Zajímavou přírodní slitinou je tzv. elektrum. Tvoří jej v různém poměru zlato a stříbro, přítomny bývají i další kovy, např. platina nebo měď. Většinovým zdrojem stříbra ve světě jsou polymetalické rudy, případně měděná ložiska. Také stříbro se objevuje jako součást některých minerálů. Jsou jimi např.: [39]

- proustit - Ag_3AsS_3 ,
- galenit – PbS ,
- akantit - Ag_2S ,
- argentit - Ag_2S ,
- pyrargyrit – Ag_3SbS_3 .

Mezi největší světové producenty stříbra v posledních letech můžeme zařadit zejména Čínu, Mexiko, Peru, Austrálii, ale také třeba Rusko nebo Bolívii. Pokles v produkci v posledních letech je naopak zaznamenala např. Kanada nebo Kazachstán. [40]

V České republice je spousta lokalit, které byly v minulosti důležitým zdrojem stříbra. Leckterá z nich byla významným zdrojem stříbra i pro jiné evropské státy. Mezi nejznámější stříbrná ložiska u nás patří Kutná Hora, Příbram, Jihlava, Jáchymov, Stříbro, Havlíčkův Brod a další. [40]

Základní chemicko-fyzikální vlastnosti stříbra:

Tabulka 3 - základní chemicko-fyzikální vlastnosti Ag

Chemická značka	Ag
Atomové číslo	47
Relativní atomová hmotnost	107,868 amu
Elektronegativita	1,93
Tvrdost (Mohsova stupnice)	2,5
Teplota varu	2162-2212°C

6.3 Měď

Měď (Obrázek 4), latinsky *Cuprum* (Cu), je vůbec prvním člověkem používaným a opracovávaným kovem. První důkazy o jejím využití se datují již do období známého jako doba kamenná. Měď, jako prvek, se vyznačuje svým zabarvením dočervena, avšak rudy mědi se vyskytují v různých zbarveních, mezi něž patří např. zelené, modré a fialové. Ve stopovém množství se objevuje také v lidském těle, avšak i v tomto malém množství je jeho nedílnou součástí. Její nedostatek v organismu se může projevit, mimo jiné, chudokrevností (tzv. anémií). [31]



Obrázek 4 – měď [35]

Vyznačuje se vysokou elektrickou a tepelnou vodivostí, je poměrně odolná vůči korozi. Vzhledem k těmto vlastnostem a také díky nižší ceně, v porovnání s ostatními kovy, je měď obvyklým materiálem využívaným nejen v odvětví elektrotechniky, ale také ve strojírenství, či stavebnictví. Nejznámějšími slitinami s obsahem mědi jsou bronz (měď a cín) a mosaz (měď a zinek). V České republice se polovina mědi pro veškeré účely získává z odpadních materiálů, druhá polovina ovšem musí být dovážena ze zahraničí. [2] [32] [33]

Výskyt ryzí mědi v přírodě je poměrně vzácný, avšak v případě jejího objevení se jedná nejčastěji o plíšky, či vlákna. Zřídka kdy potom lze nalézt měď celistvou. Daleko běžnější a četnější výskyt mědi evidujeme v rámci tzv. sirníkových rud, mezi jejichž zástupce můžeme zařadit například:

- Chalkopyrit - CuFeS_2 ,
- Chalkosín - Cu_2S ,
- Kovelín – CuS ,
- Bornit - Cu_3FeS_3 ,
- Tetraedrit - $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$.

Největší množství mědi se ve světě vytěží v USA, Chile, Peru, Austrálii a Číně. V současné době se ve světě měď stále těží v hojné míře. Poptávka po mědi je stále vysoká, zejména díky relativně nízké tržní ceně a širokému využití mědi v nejrozličnějších odvětvích.

V České republice se nenacházejí žádná ekonomicky využitelná naleziště mědi a z tohoto důvodu se od její těžby upustilo na počátku 90. let minulého století. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, jako vedlejší produkt při těžbě stříbra se některá ložiska nacházela právě na území kutnohorského regionu, další část nalezišť byla situována např. ve Zlatých horách. [34] [35] [36] [37]

Základní chemicko-fyzikální vlastnosti mědi:

Tabulka 4 - základní chemicko-fyzikální vlastnosti Cu

Chemická značka	Cu
Atomové číslo	29
Relativní atomová hmotnost	63,546 amu
Elektronegativita	1,9
Tvrdost (Mohsova stupnice)	2,5-3
Teplota varu	2595°C

6.4 Zinek

Zinek (Obrázek 5), latinsky *Zincum* (Zn) se je charakteristický svým šedomodrým zabarvením a vysokým leskem, který se ovšem na vzduchu vytrácí a vytváří se na jeho povrchu tenká vrstva hydrogenuhličitanu, jež je velice špatně rozpustná ve vodě a slouží jako ochrana tohoto kovu před následnou korozí. Zinek je také nedílnou součástí lidského organismu. Doporučená denní dávka pro jeho správné fungování se pohybuje mezi 12 až 15 mg zinku. Široké využití tento kov nalézá ve farmaceutickém průmyslu. Bývá obsažen např. v nejrůznějších mastech, či krémech. Známé jsou také jeho povzbudivé účinky na aktivitu lidského mozku. Ještě častěji však své uplatnění nachází při povrchových úpravách jiných materiálů, zejména železa nebo oceli. [55]



Obrázek 5 – zinek [56]

Do životního prostředí se dostává zejména díky lidské činnosti. Jako příklad lze uvést důlní činnost nebo již zmíněné úpravy jiných kovů. Zinek můžeme zařadit mezi elektrické vodiče. Při teplotě mezi 100 – 150 °C je kujný a tažný. Je velmi snadno tavitelný. [59] [60]

Nalézt zinek v přírodě je, oproti např. stříbru a zlatu, poměrně běžná věc. Co do četnosti jeho výskytu, zaujímá dle dostupných zdrojů 24. pozici na světě. Objevit čistý kovový zinek v přírodě je velice vzácné, jelikož je to vysoce reaktivní prvek. Díky této vlastnosti jej můžeme objevit ve formě sloučenin, mezi které patří sirníky, křemičitany, uhličitany, oxidy atd. Mezi minerály s vysokým obsahem zinku můžeme zařadit zejména: [56]

- Sfalerit – ZnS ,
- Willemitt – Zn_2SiO_4 ,
- Zinkit – ZnO ,
- Smithsonit – ZnCO_3 .

Mezi největší naleziště zinkových rud (převážně sfalerit a smithsonit) ve světě řadíme USA, Kanadu a Austrálii. Za největšího odběratele zinku na naší planetě je v současné době považována Jižní Korea. [56]

V České republice se mezi nejvýznamnější zinková naleziště řadí Příbram, Kutná Hora, Zlaté Hory, Stříbro, Jihlava a další. Odhadované množství dosud nevytěžené zásoby zinku na našem území se odhaduje na více, než 470 000 tun. Stejně jako ostatní kovy se zinek v současnosti u nás netěží. Důvodem jsou hlavně vysoké náklady na těžbu a také její negativní dopady na životní prostředí. [57] [58]

Základní chemicko-fyzikální vlastnosti zinku:

Tabulka 5 - základní chemicko fyzikální vlastnosti Zn

Chemická značka	Zn
Atomové číslo	30
Relativní atomová hmotnost	65,409 amu
Elektronegativita	1,65
Tvrdość (Mohsova stupnice)	2,5
Teplota varu	906,85 °C

7 Využití flotace při získávání vybraných kovů

Tato kapitola pojednává o využití flotace při získávání vybraných kovů v rámci srovnání několika pokusů, provedených ve světě, ale také v České republice. Blíže nám popíše flotační reagenty, použité při vykonávání laboratorních pokusů, které tvoří základ této diplomové práce.

V jedné třetině, mnou provedených, flotačních pokusů funkci sběrače plní pimentovníkový olej. Tento, nepříliš rozšířený a veřejnosti známý, olej jsem pro tento účel zvolil na základě pokusů, provedených v Austrálii. Zde se jednalo se o zkoumání účinků eukalyptových olejů, jako možných sběračů při flotaci zlata a mědi v oblasti zlatého dolu Boddington na západě Austrálie. Jedním ze zjištění této studie byl také fakt, že jako sběrače lze využít pouze eukalyptové oleje, jež obsahují látku felandren ($C_{10}H_{16}$), což je terpenický uhlovodík, jež bývá obsažen právě např. v eukalyptových olejích. Je také jednou z látek vyskytujících se v pelyňku pravém, který roste i v České republice.

Cílem tohoto projektu bylo zkoumání míry ovlivnění flotace po nahrazení látek škodlivých pro životní prostředí, látkami čistě přírodními s podobným efektem. Bylo zjištěno, že eukalyptové oleje mají potenciál nahradit např. amylxantogenan draselný (KAX) jako sběrač při flotaci zlata, či mědi. Sběrná síla eukalyptového oleje, jako sběrače je závislá na procentuálním zastoupení nepolárních a slabě polárních složek v jeho struktuře. Jedná se jmenovitě a hlavně o tzv. cineol a felandren. Při těchto pokusech bylo prokázáno, že eukalyptový olej, ve funkci sběrače se vyznačuje poměrně vysokou selektivitou, co se týče volných částic zlata, a proto dosahují při flotačním procesu relativně vysoké výtěžnosti. [48]

Současným trendem ve výzkumu je stále hledání takových látek při flotaci zlata, které by neznečišťovaly nebo jinak negativně neovlivňovaly a neohrožovaly životní prostředí či dokonce člověka, jak se tomu v historii již nejednou stalo. Například u xantogenanů tkví jejich nebezpečí ve vysoké hořlavosti. Požáry související s využíváním těchto látek jsou dokumentovány z let 1994 v Mount Isa a v O'Connor v Austrálii. Jako reakci na negativní dopady některých látek užívaných při technologiích pro získávání zlata, publikovali v roce 1998 Anastas a Warner tzv. „dvanáct principů zelené chemie“. Jedná se o dvanáct zásad, či rad, které by měly sloužit jako pokyny při vývoji technologií zasahujících do životního prostředí. [48]

Blahovičníky, tedy stromy, z jejichž listů se eukalyptový olej získává, tvoří v Austrálii více než 75% stromové populace. Není tedy divu, že výrobky z těchto stromů, a zejména oleje, jsou zde velmi rozšířeny a hojně používány. Z tohoto důvodu byly použity i jako sběrače při této flotaci. Z pokusů provedených v tomto australském zlatém dole prakticky vyplývá, že eukalyptové oleje z různých druhů blahovičníků lze jako sběrače využít pouze pokud v rámci svého složení (tabulka 6) obsahují výše zmíněné složky felandren a cineol. Druhy, jež tyto látky neobsahují, lze při flotaci také využít. Ovšem pouze jako pěniče. [48]

Tabulka 6 - procentuální zastoupení látek v jednotlivých druzích

Druh stromu	Cineol (C ₁₀ H ₁₈ O)	Felandren (C ₁₀ H ₁₆)
<i>E. Smithii</i>	91,50%	2,40%
<i>E. GRD 80/85</i>	90,30%	2,50%
<i>E. Dives</i>	15,50%	14,10%
<i>E. Citriodora</i>	2,70%	
<i>E. Polybractea</i>	45,80%	
<i>E. FGB 60/65</i>	89,90%	3,30%

Hlavním důvodem, proč jsem tento olej nevyužil jako sběrač při testech v laboratoři VŠB-TUO je ten, že v běžně dostupných prodejních místech jsou nabízeny eukalyptové oleje pouze ze dvou druhů blahovičníků. Jedná se ovšem právě o druhy, jež ve svém složení postrádají felandren, potřebný k tomu, aby podle studie provedené v Austrálii mohly při procesu flotace plnit tuto funkci. Jako možnou variantu, která by svým složením mohla obstát v roli sběrače při flotaci, jsem objevil pimentovníkový olej. Jedná se o olej, který se lisuje z listů stromu pimentovníku pravého (*Pimenta dioica*). Ten je velice blízkým příbuzným blahovičniku (*Eucalyptus*), jak dokazuje tabulka.

Tabulka 7 - taxonomie: Pimentovník x Blahovičník

	Pimentovník Pravý (<i>Pimenta dioica</i>)	Blahovičník (<i>Eucalyptus</i>)
Říše	rostliny	rostliny
Podříše	cévnaté rostliny	cévnaté rostliny
Oddělení	krytosemenné	krytosemenné
Třída	vyšší dvouděložné	vyšší dvouděložné
Řád	myrtotvaré	myrtotvaré
Čeleď	myrtovité	myrtovité
Rod	pimentovník	blahovičník

Mezi další látky, které byly používány v rámci experimentální části této diplomové práce jako sběrače, patří ODA a IPXS. Vybrány byly na základě již zdokumentovaných podobných pokusů. V experimentech provedených v laboratoři VŠB-TUO šlo o konfrontaci více prvků v rámci jednoho vzorku, a tudíž o určení toho, který kov je v daných podmínkách a za použití zvolených reagentů nejlépe flotovatelný.

Oktadecylamin (ODA), s molekulárním vzorcem $C_{18}H_{39}N$, je hořlavá bílá látka. Vyskytuje se v pevném skupenství a jako poznávací znak je možno uvést jeho typický zápach. Během zahřívání se z jeho struktury uvolňují jedovaté výpary. Při vdechnutí těchto výparů hrozí podráždění dýchacích cest doprovázené kašlem a škrábáním v krku nebo při větší koncentraci i poškození plic. Při kontaktu této látky v oblasti očí hrozí zarudnutí, bolest a slzení, či poškození zraku. Při styku s pokožkou hrozí zarudnutí, puchýře nebo také bolestivé otoky. Při manipulaci s touto látkou je tedy třeba dodržovat všech zásad a pravidel, týkajících se bezpečnosti práce v laboratoři. [49] [50] [51]

Nelze jej zcela rozpustit ve vodě, avšak dle dostupných informací může být rozpouštěn např. v chloroformu, toluenu a alkoholu. Bylo také zjištěno, že je poměrně dobře rozpustný přidáním rozpouštědla, při dosažení určité teploty. Ve flotaci bývá využíván jako kationaktivní sběrač. Právě při tomto procesu bývá nejčastěji jako varianta jeho rozpouštění aplikována metoda, kdy ODA zředíme s kyselinou chlorovodíkovou (HCl) a zahřejeme až na teplotu, při níž se začnou jeho krystaly rozpouštět. Tato varianta byla použita také při jednom zahraničním pokusu, kde vědci zjišťovali jeho účinnost při flotaci zaměřené na separaci vybraných kovů, mimo jiné také mědi, z mořské vody. V tomto případě se jako nejvhodnější možnost ukázalo rozpouštění v 6M HCl, methyloisobutyl ketonu (MIBK) a etanolu. Poměr těchto činidel byl 1:2:2. [52] [53]

Pro experimenty, provedené v rámci této diplomové práce s ODA, jako sběračem, bylo jeho rozpouštění uskutečněno v 1M HCl. Pro jeho dokonalé rozpouštění bylo nutné roztok zahřát na více než 70 °C. Po doplnění nádoby destilovanou vodou na 500 ml vznikla v kádince mléčně bílá tekutina s charakteristickým zápachem.

U většiny tenzidů se kritická micelární koncentrace pohybuje mezi 10^{-5} – 10^{-3} mol·dm⁻³. Aby se zamezilo vytváření micel v rozpouštěném roztoku ODA, nesměla být tato mez překročena. [54]

Pro srovnání účinnosti s kationaktivním sběračem ODA bylo v mé práci využito také anionaktivního sběrače – Isopropylxantogenanu sodného (IPXS).

Tato látka byla, jako sběrač, použita při flotacích v Irském městě Kilkenny, kde se nachází jeden ze tří dolů, které se zabývají těžbou olova a zinku. Jedná se o důl Galmoy Mine a jeho činnost byla spuštěna roku 1997. V dolomitové skále se nacházely horniny s poměrně zajímavým ekonomickým potenciálem – sfalerit (10-11 % Zn) a galenit (0,7 % Pb). Změna rudního typu, jež byla zaznamenána v roce 2002, vedla ke snížení výtěžnosti zinku a olova. Jednalo se o promísení s pyritovou rudou obsahující železo. Kvůli tomu, že do procesu vstupoval další kov, výtěžnost zinku a olova v tomto období klesala. Bylo nutné provést určitá opatření, která spočívala v efektivnějším oddělení získávaných kovů. [61]

Výtěžnost zinku v tomto období klesla z 83% na 78%. Hladiny železa v zinkovém koncentrátu ovšem zůstávaly na svých tradičních hodnotách. Odborníci přistoupili k využití sběračů IPXS a AF 242 pro získávání olova. Pro zinek byl zvolen jako sběrač amylxantogenan draselný společně s AP 3894. Ukázalo se, že nabohacení olova bylo vyšší v prvním případě, kde měl být primárně nabohacován zinek. Dne 3. října 2002 byly hlavní sběrače prohozeny a do zinkové lázně byl dávkován IPXS, kdežto u olova se jednalo o amylxantogenan draselný. Prakticky okamžitě byla návratnost olova zvýšena a zároveň se také snížila kontaminace zinkových koncentrátů. [61]

IPXS byl do procesu dávkován postupně. Jeho polovina byla přiváděna ručně ovládaným ventilem, zbylá polovina poté pomocí otočného rozdělovače. [61]

Jelikož se v této diplomové práci zaměřuji, mimo jiné, také na koncentraci zinku, zvolil jsem tento sběrač na základě jeho úspěšného využití v zahraničí při získávání tohoto kovu. Na rozdíl od pokusu, který byl proveden v Irsku, nebudu v laboratoři VŠB-TUO využívat kombinaci s jiným sběračem, ani postupné dávkování do flotační cely.

8 Experimentální část

V této části diplomové práce bude popsána příprava a postup při pokusech provedených v laboratoři VŠB-TUO. Následně zde budou uveřejněny jejich výsledky a srovnání, pokud možno, s podobnými pracemi týkajícími se tohoto tématu. Cílem práce je nabohacení strusky z odvalu Markovičky (Obrázek 6), který vznikl v kutnohorském regionu v minulém století jako následek těžby. Struska z této lokality obsahuje pozůstatky barevných kovů, zejména ve formě silikátů. Na jejím povrchu lze místy pozorovat povlaky sekundárních minerálů mědi, vytvářených vlivem atmosférických jevů.



Obrázek 6 - odval Markovičky [foto autor]

8.1 Úprava vzorku pro proces flotace

Vzorek strusky z odvalu Markovičky (Obrázek 7) byl odebrán z hloubky do 0,5 m. V laboratoři VŠB-TUO byla struska podrcena na čelistovém drtiči a poté, pomocí vibračního mlýnu pomleta a upravena síťováním na velikost menší než 0,2 mm.



Obrázek 7 - odebraný vzorek strusky [foto autor]

8.2 Analýza vzorků

Analýza vzorků byla provedena v laboratoři Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. Ve všech vzorcích byly stanovovány hodnoty kovnatosti u stříbra a mědi, u některých vzorků navíc také zlato a zinek. Vzorky byly mineralizovány použitím lučavky královské a následná analýza byla provedena prostřednictvím mikrovlnného zařízení Milestone, MLS-1200 MEGA Microwave Digestion System. Určení hodnot kovnatosti jednotlivých prvků ve vzorcích se provádělo metodou ICP-MS spektrometrem NexION Perkin Elmer.

8.3 Metodika flotačních testů

Pokusy v rámci této diplomové práce byly provedeny v laboratoři Institutu environmentálního inženýrství VŠB-TUO. Pro uskutečnění jednotlivých flotací vzorků bylo využito pneumo-mechanického flotátoru VRF-1 (Obrázek 8), který disponuje velikostí flotační cely o objemu 1 litru. Pěna byla z flotační cely odváděna pomocí shrabovacího zařízení do nachystaných kádinek. Následně získané produkty daných flotačních pokusů byly přefiltrovány vývěvou, odkud byly poté vyjmuty a vysušeny v horkovzdušné sušárně, kde dosahovala teplota 105 °C. Po dokončení procesu sušení (24 h) byly vzorky zváženy, přesypány do předem popsanych vzorkovnic a podrobeny analýze.



Obrázek 8 - flotátor VRF-1 [foto autor]

Pro flotační pokusy č. 1 a 4 byl jako sběrač použit pimentovníkový olej a jako pěnič byl ve všech případech použit borovicový olej (5 kapek). Při pokusu č. 4 byl navíc vzorek strusky 1 hodinu loužen v 1M kyselině sírové (H_2SO_4).

Flotační pokusy č. 2 a 5 byly provedeny za téměř totožných podmínek jako výše zmíněné flotace 1 a 4. Jediná změna spočívala pouze v použití jiného sběrače. Pro tyto dvě flotace tuto funkci zastával kationaktivní ODA.

U flotací č. 3 a 6 platí opět stejná kritéria jako u předchozích prováděných pokusů, ovšem za použití anionaktivního sběrače. V těchto experimentech se jedná o IPXS.

8.4 Provedení flotačních testů

Tato podkapitola se zaměřuje na samotné flotační testy, provedené v laboratoři VŠB-TUO, Institutu environmentálního inženýrství. Popisuje jejich přípravu a průběh, následně také vyhodnocení výsledků. Při šesti flotačních testech bylo použito tří různých

sběračů. Jedná se o pimentovníkový olej, ODA a IPXS. Tři flotace byly navíc louženy jednu hodinu v kyselině sírové (H_2SO_4).

8.4.1 Flotační pokus č. 1

Podmínky flotace (tabulka 8):

Tabulka 8 - flotace č. 1 - podmínky

Navážka	100 g/dm ³
Flotační činidlo	Pimentovníkový olej (1000 g/t)
Pěnič	Borovicový olej (500 g/t)
Agitace	5 min
Flotační čas	10 min
prostředí pH	neutrální

Flotační test č. 1 probíhal po dobu 10 minut. Navážka pevného vzorku, podrceného na zrnitost pod 0,2 mm byla stanovena na 100 g. Funkci sběrače při tomto experimentu plnil pimentovníkový olej dávkovaný v poměru 1000 g/t (5 kapek), který byl smíchán se 100 ml vody a dvě minuty promícháván ve vysokorychlostním mixéru (20000 ot. / min), za účelem vytvoření emulze. Jako pěnič byl využit borovicový olej (5 kapek – 500 g/t). Doba agitace byla stanovena na 5 minut.

Podrcený vzorek byl ve flotační cele doplněn vodou na 900 ml a promíchán. Na začátku agitace byl přidán i pimentovníkový olej rozmíchaný ve vodě, tak aby byl objem flotační cely doplněn na 1 dm³. Po pětiminutovém promísení látek bylo přidáno ještě 5 kapek borovicového oleje, plnícího roli pěniče. Po jedné minutě, od této chvíle, byl spuštěn přívod vzduchu do flotační cely, spuštěno shrabovací zařízení, jehož úkolem je shrabovat vytvořený pěnový produkt do přistavené nádoby po celou dobu flotačního procesu.

Na začátku procesu se na hladině začínala tvořit poměrně hustá pěna (Obrázek 9), která ovšem s postupujícím časem svou hustotu a mineralizaci ztrácela (Obrázek 10)



Obrázek 9 - Flotace č. 1 - 1. Minuta [foto autor]



Obrázek 10 - Flotace č. 1 - 7. Minuta [foto autor]

První flotační test byl ukončen po deseti minutách od spuštění přívodu vzduchu. Koncentrát, který přešel v pěnovém produktu do předem připravené nádoby i odpad, usazený na dně flotační cely byly následně pomocí vývěvy a předem zváženého filtračního papíru přefiltrovány (Obrázek 11). Následně byly uloženy do horkovzdušné sušárny a při teplotě 105 °C byly po dobu 24 hodin vysušovány. Poté byly vzorky zváženy a přesunuty do vzorkovnic s pečlivým popisem, aby se zabránilo záměně jednotlivých vzorků. Ty byly následně odevzdány k analýze na Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě.



Obrázek 11 - vývěva s připraveným filtračním papírem [foto autor]

Při tomto procesu je také nutné stříčkou s čistou vodou průběžně čistit jak povrch shrabovacího zařízení (Obrázek 12), tak také boční a zadní stěnu flotační cely, aby se zabránilo usazování minerálních zrn mimo vodní prostředí, případně mimo pěnu.



Obrázek 12 - Shrabovací zařízení flotátoru [foto autor]

Výsledky prvního flotačního testu (tabulky 9, 10, 11):

Tabulka 9 - flotace č. 1 - hodnoty získané pro Ag

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	76,2	100		
K	8,22	112,5	12,14	3,93	1,5
O	91,78	72,9	87,81		

Tabulka 10 - flotace č. 1 - hodnoty získané pro Cu

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	1790	100		
K	8,22	4310	19,79	11,79	2,4
O	91,78	1564	80,2		

Tabulka 11 - flotace č. 1 - hodnoty získané pro Au

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	0,17	100		
K	8,22	0,28	13,54	5,32	1,65
O	91,78	0,16	86,38		

8.4.2 Flotační pokus č. 2

Podmínky flotace (Tabulka 12):

Tabulka 12 - flotace č. 2 - podmínky

Navážka	100 g/dm^3
Flotační činidlo	Oktadecylamin (50 g/t)
Pěnič	Borovicový olej (500 g/t)
Agitace	5 min
Flotační čas	10 min
prostředí pH	neutrální

Flotace č. 2 probíhala za podobných podmínek, jako předchozí pokus. Navážka byla opět 100 g a tvořila ji jemně pomletá struska (zrno pod 0,2 mm). Flotační čas byl

stanoven na 10 minut. Samotné flotaci předcházela 5 minutová agitace. Roli pěniče plnil borovicový olej. Jako sběrač byl v tomto případě použit ODA, který musel být, pro tuto potřebu, rozpuštěn v HCl.

Toto rozpouštění proběhlo smícháním 0,5 g ODA a 70 ml 1M HCl (Obrázek 13). Samotné promíchání k jeho úplnému rozpuštění nestačilo a v roztoku byly stále patrné pevné částice, tzv. micely. K jejich úplnému rozpuštění musel být roztok zahřán na více než 70 °C. Množství ODA + HCl, které bylo použito jako sběrač při této flotaci, činilo 10 ml.



Obrázek 13 - ODA+HCl [foto autor]

Pevný vzorek strusky byl umístěn do flotační cely, která byla vodou doplněna na 1 dm³. Na začátku agitace bylo přidáno 10 ml ODA+HCl. Po pěti minutách bylo přidáno také 5 kapek borovicového oleje (500 g/t), jako pěniče. Od této doby, přesně po minutě byl do flotační cely vpuštěn vzduch a zprovoznilo se shrabovací zařízení.

Na začátku flotace se tvořila poměrně hustá pěna (Obrázek 14). Tmavší barva napovídala její mineralizaci. Její hustá konzistence ovšem nevydržela a na konci 10 minutového flotačního času již byla poměrně řídká a světlá (Obrázek 15).



Obrázek 14 - Flotace 2, 1. Minuta [foto autor]



Obrázek 15 - Flotace 2, 10. Minuta [foto autor]

Po uplynutí deseti minut byl koncentrát a také odpad pomocí vývěvy a předem zvážených filtračních papírů zfiltrován a tyto vzorky byly přemístěny do horkovzdušné sušárny, v níž byla teplota nastavena na 105 °C. Po uplynutí 24 hodin byly vzorky ze

sušárny odebrány, zváženy a uschovány do vzorkovnic. Analýza daných vzorků byla provedena v laboratoři Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě.

Výsledky druhého flotačního testu (tabulky 13, 14):

Tabulka 13 - flotace č. 2 – hodnoty získané pro Ag

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	76,2	100		
K	9,85	177,6	22,96	13,11	2,33
O	90,15	65,1	78,73		

Tabulka 14 - flotace č. 2 - hodnoty získané pro Cu

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	1790	100		
K	9,85	3610	19,87	10,04	2,02
O	90,15	1591	80,13		

8.4.3 Flotační pokus č. 3

Podmínky flotace (tabulka 15):

Tabulka 15 - flotace č. 3 - podmínky

Navážka	100 g/dm^3
Flotační činidlo	Isopropylxantogenan sodný (100 g/t)
Pěnič	Borovicový olej (500 g/t)
Agitace	5 min
Flotační čas	10 min
prostředí pH	neutrální

Flotační test č. 3 probíhal za velmi podobných podmínek jako předchozí dvě flotace. Naváženo bylo 100 g jemně pomleté a podrcené strusky. Flotační čas byl stanoven na 10 minut. Agitace probíhala 5 minut. Jako pěnič byl vybrán borovicový olej (5 kapek). Změna opět nastala pouze na pozici sběrače. Při tomto pokusu tuto roli plnil anionaktivní IPXS, který byl za tímto účelem rozpuštěn ve vodě. Takto rozpuštěný byl do procesu dávkován v množství 100 g/t, což v podmínkách laboratoře VŠB-TUO odpovídá 10 ml.

Navážený vzorek se smíchal s vodou a byl vpraven do flotační cely o objemu 1 dm^3 . Než bylo spuštěno promíchávání, byl do flotační cely přidán sběrač, tedy 10 ml roztoku IPXS s vodou. Po 5 minutové agitaci bylo přidáno 5 kapek borovicového oleje, který plnil roli pěniče. Minutu poté byl spuštěn přívod vzduchu do flotační cely, zprovozněno shrabovací zařízení, přistavena nádoba na shrabovaný pěnový produkt a započala samotná flotace.

Na počátku tohoto flotačního testu se vytvořila pěna s poměrně velkými bublinami (Obrázek 16), což se ale v průběhu ustálilo a velikost jednotlivých bublin se zmenšila. Postupem času ovšem pěna ztrácela svou mineralizaci a v desáté minutě flotace (Obrázek 17) byla již poměrně světlá, i když na okraji flotační cely byl stále okem viditelný přenos zrn do připravené nádoby.



Obrázek 16 - Flotace 3, 1. Minuta [foto autor]



Obrázek 17 - Flotace 3, 10. Minuta [foto autor]

Po deseti minutách byla tedy tato flotace ukončena a získaný koncentrát a také odpad byly pomocí vývěvy a filtračních papírů zbaveny přebytečné vody a uloženy na plech. Takto upraveny byly následně vloženy do horkovzdušné sušárny a ponechány zde po dobu 24 hodin, za teploty 105 °C. Po jejich vysušení proběhlo převážení získaných vzorků, následně jejich přesypání do vzorkovnic, které byly popsány, aby nedošlo k záměně vzorků. Další fází bylo jejich odeslání na Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, kde byla provedena jejich analýza.

Výsledky třetího flotačního testu (tabulky 16, 17, 18) :

Tabulka 16 - flotace č. 3 - hodnoty získané pro Ag

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	76,2	100		
K	10,9	129,5	18,52	7,62	1,7
O	89,1	69,7	81,5		

Tabulka 17 - flotace č. 3 - hodnoty získané pro Cu

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	1790	100		
K	10,9	3690	22,46	11,58	2,06
O	89,1	1558	77,53		

Tabulka 18 - flotace č. 3 - hodnoty získané pro Zn

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	16800	100		
K	10,9	16800	10,9	0	1
O	89,1	16800	89,1		

8.4.4 Flotační pokus č. 4

Podmínky flotace (tabulka 19):

Tabulka 19 - flotace č. 4 - podmínky

Navážka	100 g/dm^3
Flotační činidlo	Pimentovníkový olej (1000 g/t)
Pěnič	Borovicový olej (500 g/t)
Doba loužení s H_2SO_4	60 min
Agitace	5 min
Flotační čas	10 min
hodnota pH	2-2,5

Tento flotační test probíhal za využití stejných flotačních reagentů, jako flotace č. 1, ovšem s tím rozdílem, že podrcený vzorek strusky byl před flotací 60 minut loužen ve 20 ml 1M H_2SO_4 . Při tomto loužení kleslo pH v připravené nádobě na hodnotu 0,5. Po smíchání s vodou a ostatními flotačními reagenty nakonec pH ve flotační cele mírně stouplo, a to na hodnotu mezi 2 - 2,5.

Samotné flotaci, jejíž čas byl stanoven na 10 minut, předcházela pětiminutová agitace. Po uplynutí 60 minut loužení pevného vzorku (pod 0,2 mm) v připravené nádobě byl zahájen jeho přesun do flotační cely. Roli sběrače při tomto testu opět plnil pimentovníkový olej. Jako v případě prvního flotačního testu byl smíchán se 100 ml vody a 2 minuty promícháván ve vysokorychlostním mixéru. Takto vytvořená emulze byla přidána do flotační cely, doplněna vodou na 1 dm^3 a bylo zahájeno promíchávání této směsi. Jako zajímavý fakt bych zmínil, že již při druhé minutě agitace se na hladině tvořila

mírná pěna, i když ještě ve směsi nebyl přítomen pěnič (Obrázek 18). Po pěti minutách byl přidán pěnič, kterým byl opět borovicový olej o dávce 5 kapek.



Obrázek 18- Flotace 4, tvorba pěny bez přidání pěniče [foto autor]

Po uplynutí jedné minuty od přidání pěniče byl zapnut přívod vzduchu do flotační cely a spuštěno shrabovací zařízení. Dalším zajímavým jevem, při této flotaci bylo, že pěna, která se vytvářela na začátku flotace, nedosahovala takové hustoty a velikosti bublin, jako pěna, která se začala tvořit až okolo 6. minuty po spuštění přívodu vzduchu (Obrázek 19).



Obrázek 19 - Flotace 4, 6. Minuta [foto autor]

Po deseti minutách byl vypnut přívod vzduchu a flotace byla ukončena. Získaný koncentrát i zbylý odpad byly přefiltrovány za pomoci vývěvy a předem zvážených filtračních papírů. Získané vzorky byly přesunuty do horkovzdušné sušárny a při teplotě 105 °C sušeny po dobu 24 hodin. Poté byly vzorky zváženy, uzavřeny do vzorkovnic a odeslány na analýzu, která byla provedena v laboratoři Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě.

Výsledky čtvrtého flotačního testu (tabulky 20, 21, 22) :

Tabulka 20 - flotace č. 4 - hodnoty získané pro Ag

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	76,2	100		
K	10,17	144,8	19,33	9,16	1,9
O	89,83	68,4	80,63		

Tabulka 21 - flotace č. 4 - hodnoty získané pro Cu

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	1790	100		
K	10,17	3650	20,74	10,59	2,04
O	89,83	1579	79,26		

Tabulka 22 - flotace č. 4 - hodnoty získané pro Au

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	0,17	100		
K	10,17	0,25	14,95	4,7	1,47
O	89,83	0,16	84,55		

8.4.5 Flotační pokus č. 5

Podmínky flotace (tabulka 23):

Tabulka 23 - flotace č. 5 - podmínky

Navážka	100 g/dm ³
Flotační činidlo	Oktadecylamin (50 g/t)
Pěnič	Borovicový olej (500 g/t)
Doba loužení s H ₂ SO ₄	60 min
Agitace	5 min
Flotační čas	10 min
hodnota pH	2-2,5

Flotace č. 5 je obdobou provedeného pokusu číslo 2. Rozdíl, podobně, jako u předchozího pokusu je v tom, že byl podrcený vzorek strusky 1 hodinu loužen ve 20 ml 1M H₂SO₄. Jako sběrač byl při této flotaci využit ODA o dávce 10 ml. Funkci pěniče opět plnil borovicový olej, konkrétně 5 kapek, což odpovídá množství 500 g/t. Hodnota pH ve flotační celi byla stanovena na 2,5.

Po uplynutí 1 hodiny loužení vzorku v 1M H₂SO₄ byla tato směs přesunuta do flotační cely a doplněna vodou na 1 dm³. Do takto vytvořené směsi bylo přidáno 10 ml roztoku ODA + HCl. Desetiminutové flotaci i v tomto případě předcházela 5 minutová agitace. Po uplynutí času určeného na agitaci byl do flotační cely přidán pěnič. V tomto případě 5 kapek borovicového oleje. Než byl do flotační cely vpuštěn přívod vzduchu, byla ponechána jedna minuta na promísení směsi s přidáním pěničem. Následně započal proces samotné flotace.

Na počátku tohoto procesu se na hladině tvořila pouze řídká a slabě mineralizovaná pěna (Obrázek 20). Postupně se ovšem tvořila stále hustější pěna, tvořena malými bublinkami. Nejvyšší hustoty dosáhla po uplynutí páté minuty provedeného flotačního testu (Obrázek 21).



Obrázek 20 - Flotace 5, 1. Minuta [foto autor]



Obrázek 21 - Flotace 5, po 5. Minutě [foto autor]

Jakmile uběhlo deset minut, byl vypnut přívod vzduchu do flotační cely a pátý flotační pokus byl ukončen. Získaný koncentrát i zbylý odpad byly přefiltrovány přes filtrační papíry za použití vývěvy. Takto získané vzorky byly dány na vysušení do horkovzdušné sušárny, která byla nastavena na dobu 24 hodin a teplotu 105 °C. Následující den byly vzorky zváženy a přesypány do vzorkovnic, které byly pro snadnou

identifikaci popsány. Takto uložené a označené vzorky byly předány na analýzu, která byla provedena prostřednictvím Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě.

Výsledky pátého flotačního testu (tabulky 24, 25):

Tabulka 24 - flotace č. 5 - hodnoty získané pro Ag

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	76,2	100		
K	6,83	160	14,34	7,51	2,1
O	93,17	70	85,6		

Tabulka 25 - flotace č. 5 - hodnoty získané pro Cu

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	1790	100		
K	6,83	4580	17,47	10,66	2,56
O	93,17	1586	82,53		

8.4.6 Flotační pokus č. 6

Podmínky flotace (tabulka 26):

Tabulka 26 - flotace č. 6 - podmínky

Navážka	100 g/dm^3
Flotační činidlo	Isopropylxantogenan sodný (100 g/t)
Pěnič	Borovicový olej (500 g/t)
Doba loužení s H_2SO_4	60 min
Agitace	5 min
Flotační čas	10 min
hodnota pH	2-2,5

Flotační test č. 6 byl poslední, který byl proveden v rámci této diplomové práce. Při tomto pokusu bylo využito stejných flotačních reagentů jako ve flotaci č. 3. Tedy IPXS (10 ml) ve funkci sběrače a borovicový olej (5 kapek), jako pěnič. Oproti předchozímu pokusu, který byl s tímto sběračem proveden, byl vzorek jemně podrcené strusky jednu

hodinu loužen v 1M H_2SO_4 . Působením kyseliny se pH ve flotační cele ustálilo na hodnotě 2,5.

Po jedné hodině, kdy byl navážený vzorek (100 g) strusky loužen ve 20 ml 1M H_2SO_4 , byl přesunut do flotační cely, kde byl následně doplněn vodou na objem 1 dm³. Na počátku procesu byl do takto vytvořeného roztoku přidán IPXS, plnicí roli sběrače a byla odměřena doba 5 minutové agitace. Po jejím uplynutí byl přidán borovicový olej v roli pěniče. Minutu nato byl do flotační cely vpuštěn přívod vzduchu a zprovoznilo se shrabovací zařízení určené ke shrabování pěnového produktu do připravené nádoby. Shrabovací zařízení bylo průběžně ostříkováno stříčkou s čistou vodou, aby se zabránilo usazování zrn na stěnách flotační cely.

Po spuštění přívodu vzduchu se postupně začala vytvářet na hladině poměrně hustá pěna. Nejvyšší hustoty dosahovala od 4. minuty (Obrázek 22).



Obrázek 22 - Flotace 6, po 4. Minutě [foto autor]

Ve chvíli, kdy uplynulo 10 minut a tudíž vypršel předem stanovený flotační čas, byl odpojen přívod vzduchu, vypnuto shrabovací zařízení a provedeno přefiltrování získaného koncentráту a odpadu usazeného na dně flotační cely přes filtrační papíry, pomocí vývěvy. Takto získané vzorky, byly přesunuty do horkovzdušné sušárny, kde byly ponechány

po dobu 24 hodin, při teplotě 105 °C. Následující den, po vysušení, byly zváženy a přesypány do vzorkovnic. Takto uchované vzorky byly odeslány na analýzu do Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě.

Výsledky pátého flotačního testu (tabulky 27, 28, 29):

Tabulka 27 - flotace č. 6 - hodnoty získané pro Ag

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [mg·kg ⁻¹]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	76,2	100		
K	6,81	129,5	11,57	4,76	1,7
O	93,19	72,3	88,42		

Tabulka 28 - flotace č. 6 - hodnoty získané pro Cu

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [mg·kg ⁻¹]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	1790	100		
K	6,81	4850	18,45	11,67	2,7
O	93,19	1566	81,55		

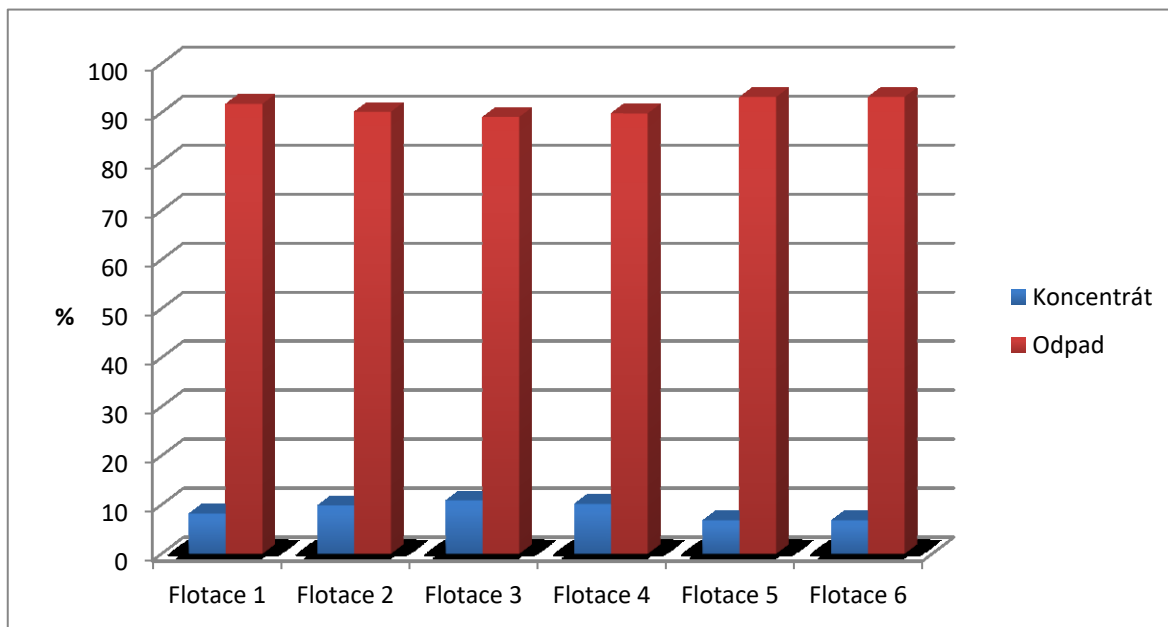
Tabulka 29 - flotace č. 6 - hodnoty získané pro Zn

Produkt	Výnos [%]	Kovnatost [mg·kg ⁻¹]	Výtěžnost [%]	Účinnost [%]	Obohacení
P	100	16800	100		
K	6,81	22100	8,95	2,18	1,3
O	93,19	16412	91,04		

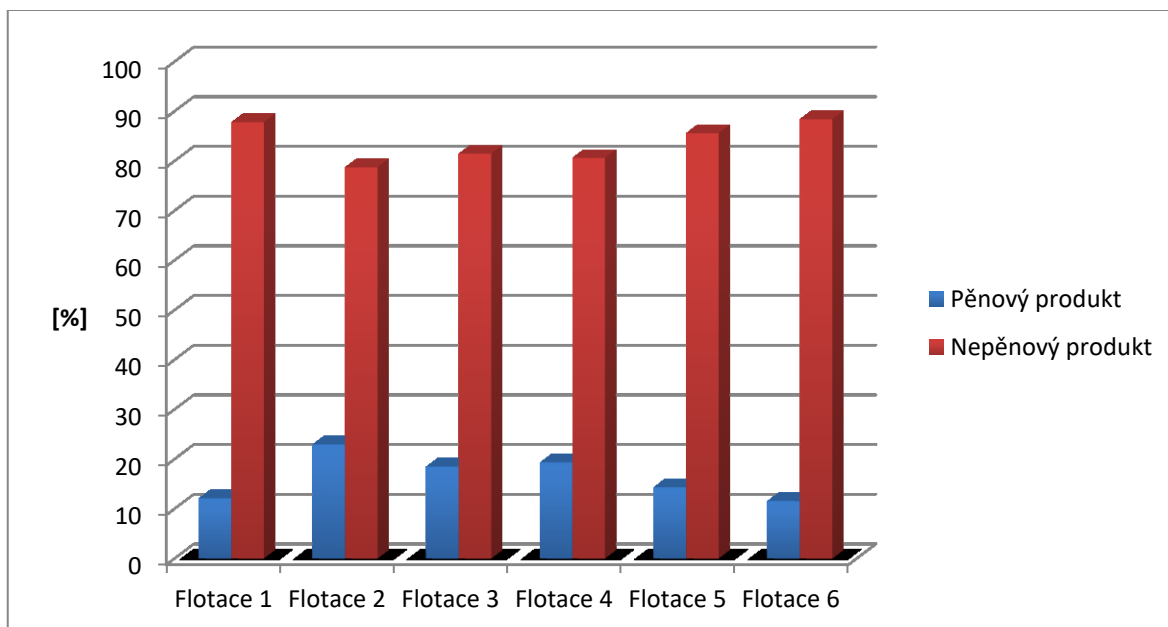
8.4.7 Vyhodnocení flotačních testů

Tato podkapitola se zabývá výsledky provedených flotačních pokusů. Pro jejich názornost budou takto dosažené výsledky prezentovány ve formě grafů. Například na obrázku č. 23 můžeme vidět srovnání výnosů provedených flotačních testů. Na obrázku 24 jsou znázorněny výtěžnosti stříbra ze všech flotací a obrázek 25 představuje výtěžnost mědi. Na obrázcích 26 a 27 jsou porovnány kovnatosti těchto dvou prvků. Obrázky 28 a 29 dále srovnávají obohacení stříbra, respektive mědi v pokusech provedených v laboratoři VŠB – TUO. V případě dalšího grafu (Obrázek 30) se jedná o znázornění srovnání výnosů a kovnatostí provedených flotačních pokusů z účelem nabohacení stříbra. Obrázek 31 znázorňuje totéž, ovšem s tím rozdílem, že v grafu jsou popsány hodnoty získané pro další

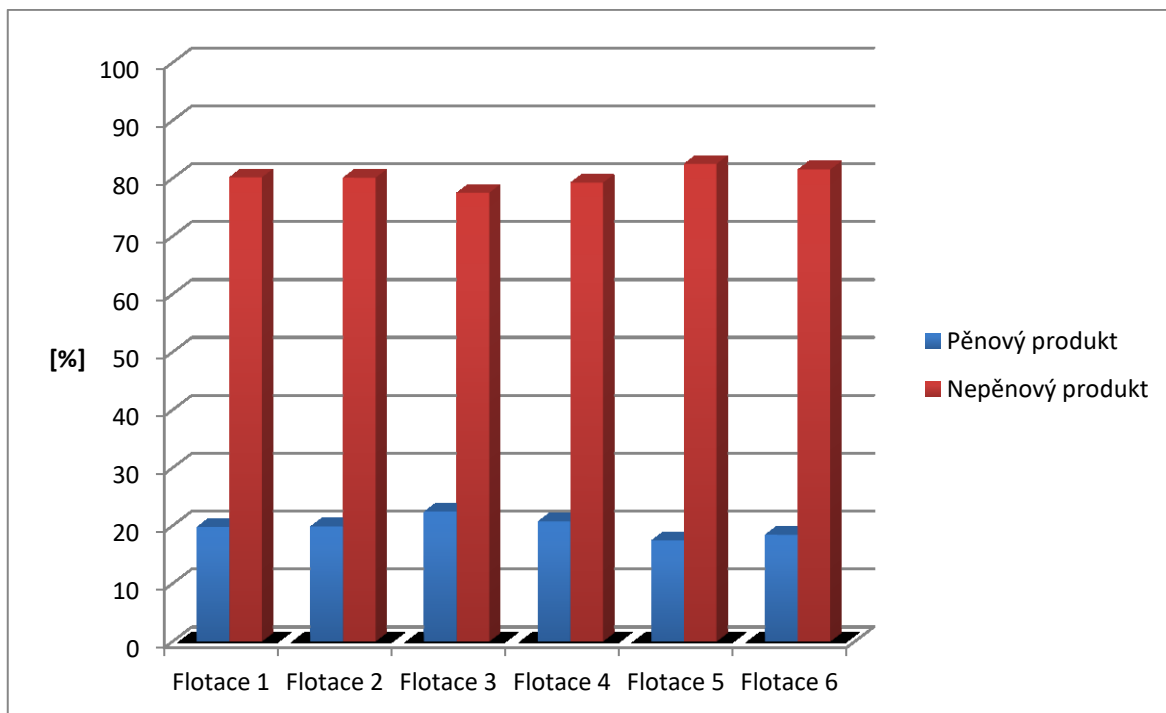
sledovaný prvek, v tomto případě konkrétně měď. Obrázek 32 představuje hodnoty získané pro účinnost flotací stříbra. Na obrázku 33 je znázorněna účinnost flotací mědi.



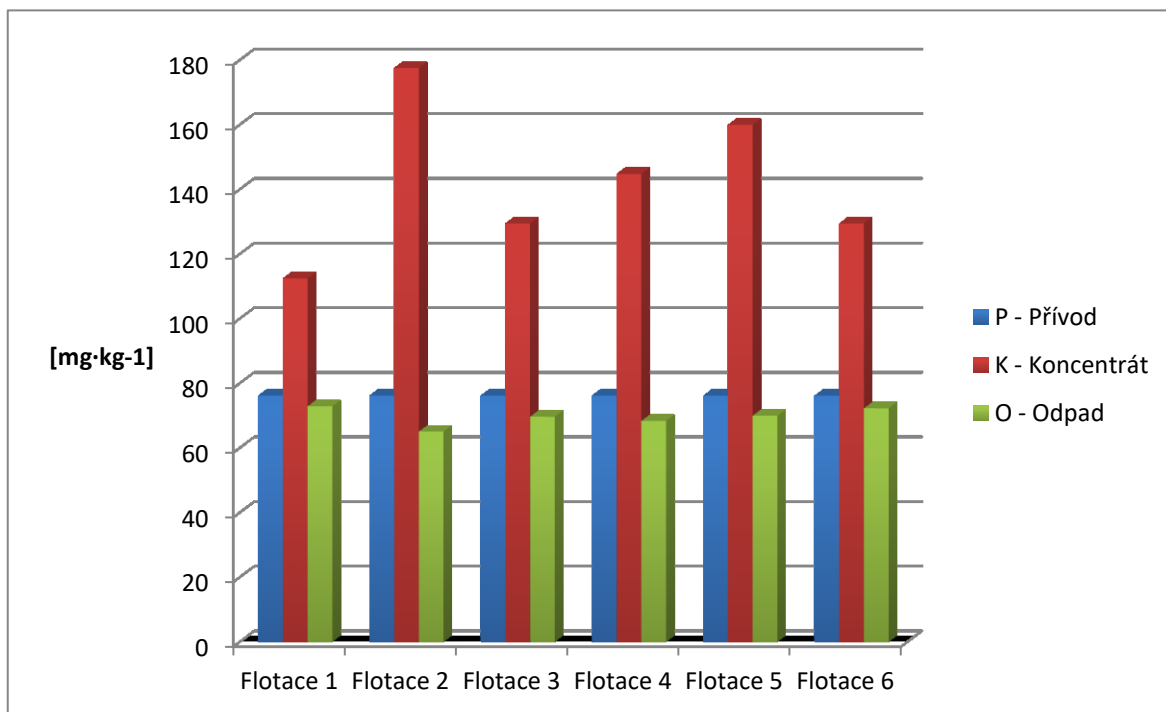
Obrázek 23 - graf výnosů provedených flotací



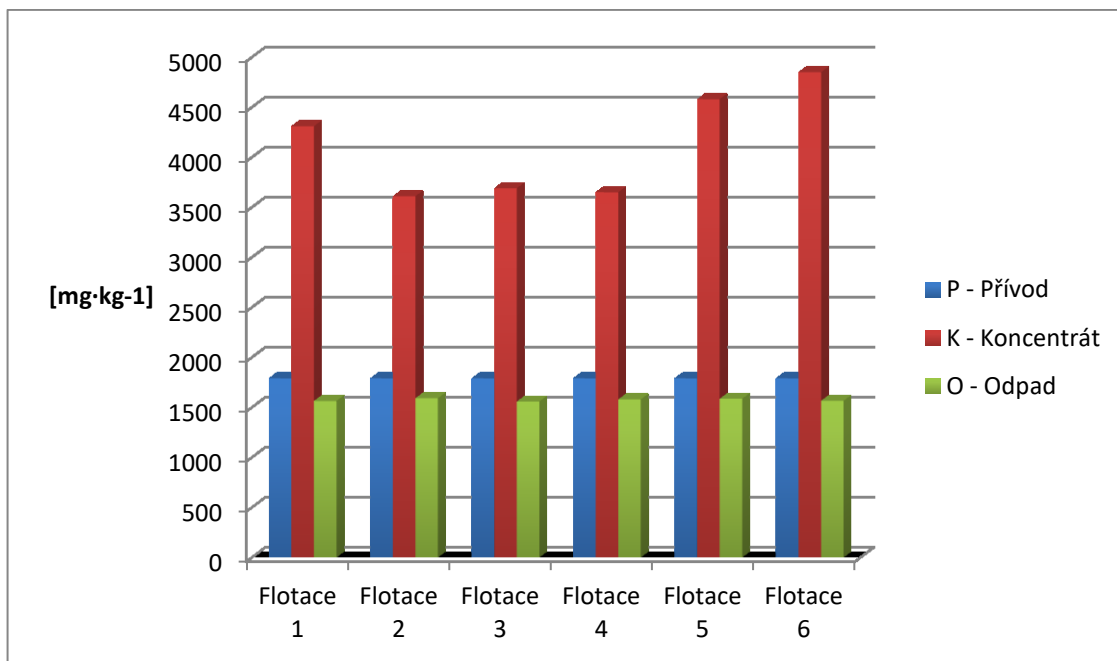
Obrázek 24 - graf výtěžností Ag v provedených flotacích



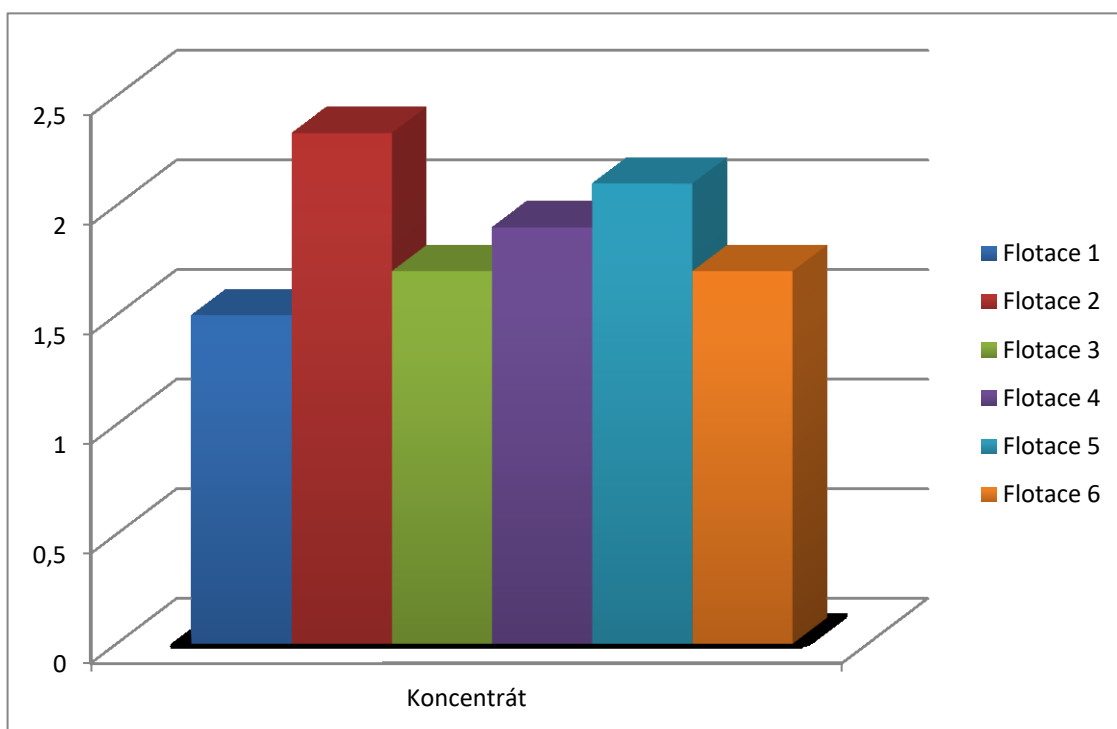
Obrázek 25 - graf výtěžností Cu v provedených flotacích



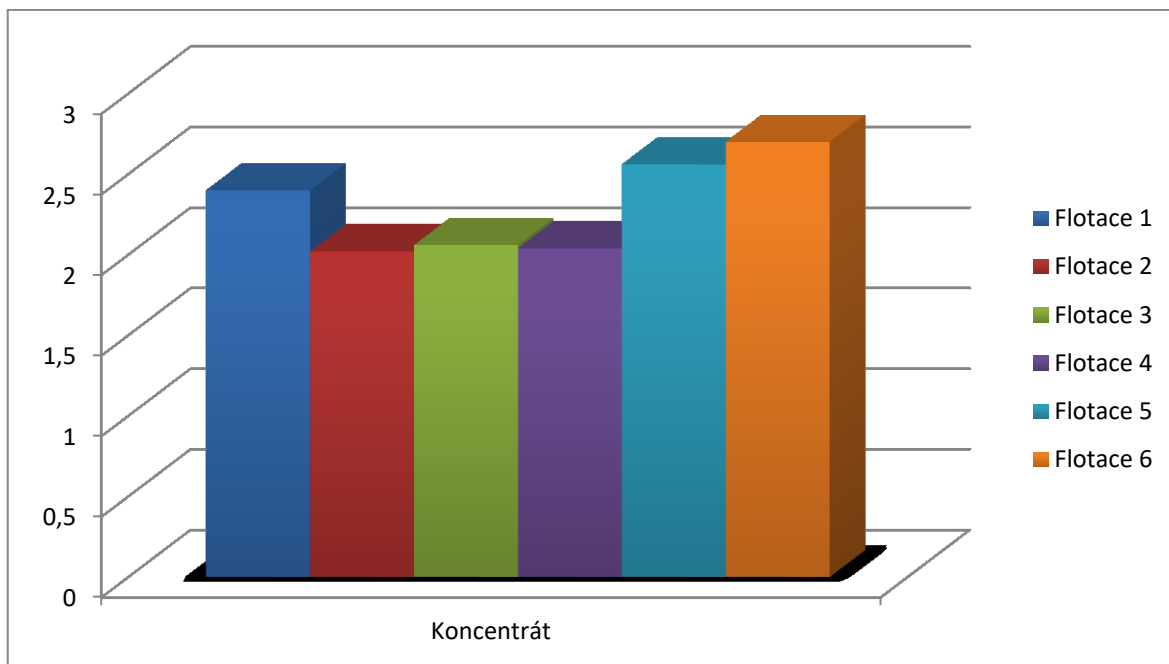
Obrázek 26 - graf kovatostí Ag v provedených flotacích



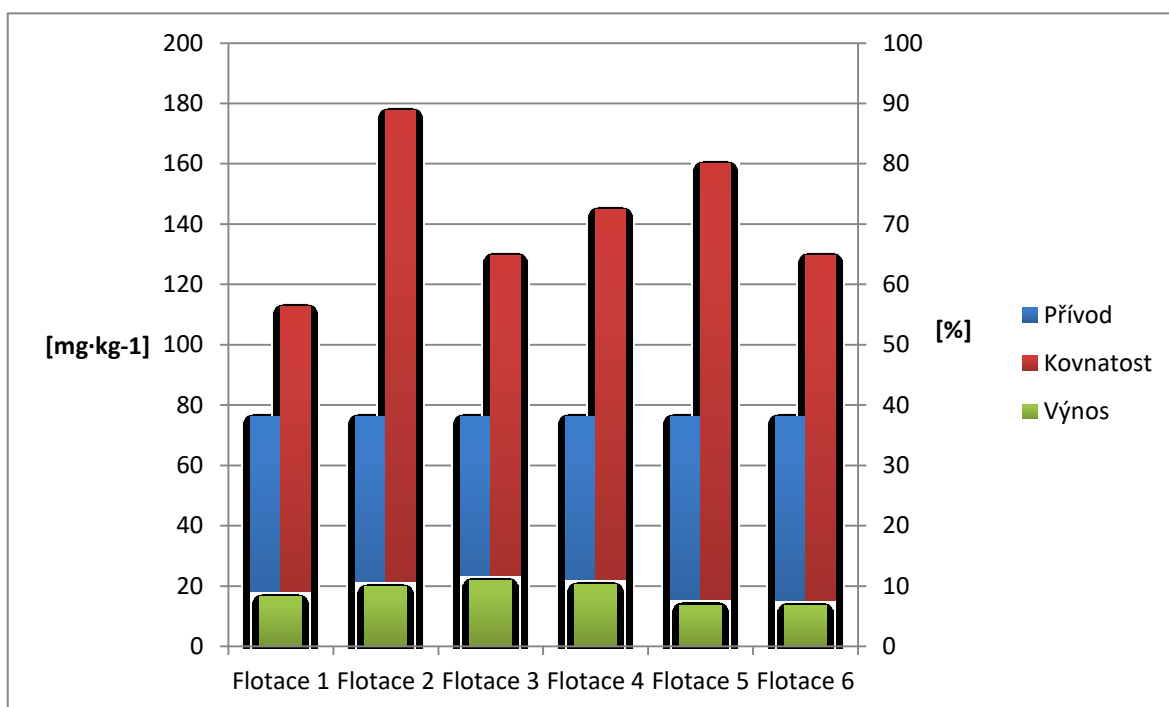
Obrázek 27 - graf kovnatostí Cu v provedených flotacích



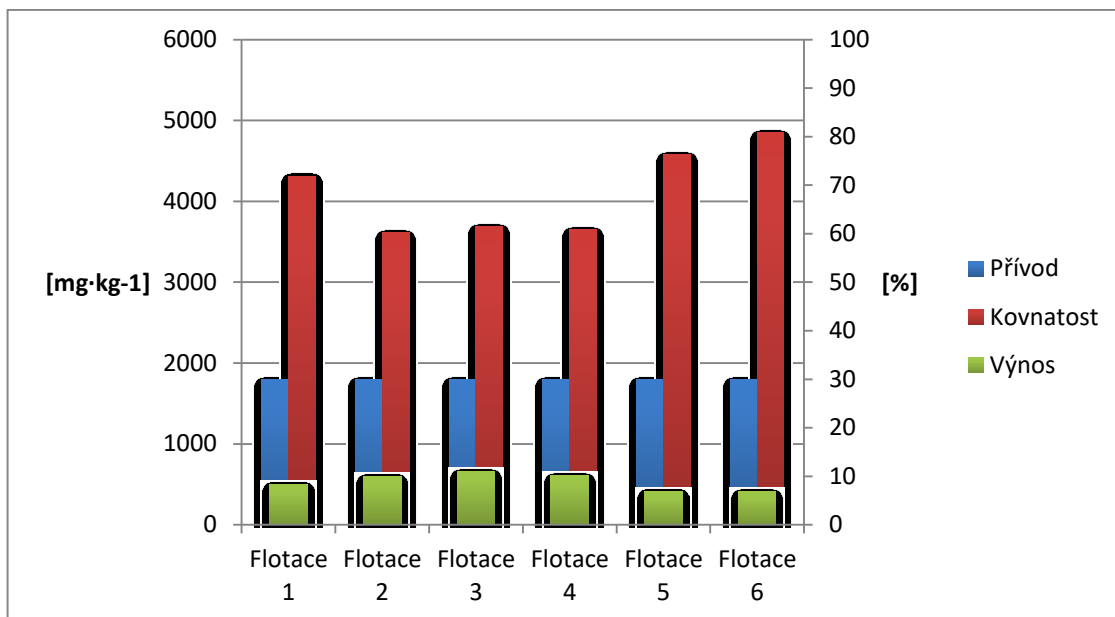
Obrázek 28 - graf obohacení Ag v provedených flotacích



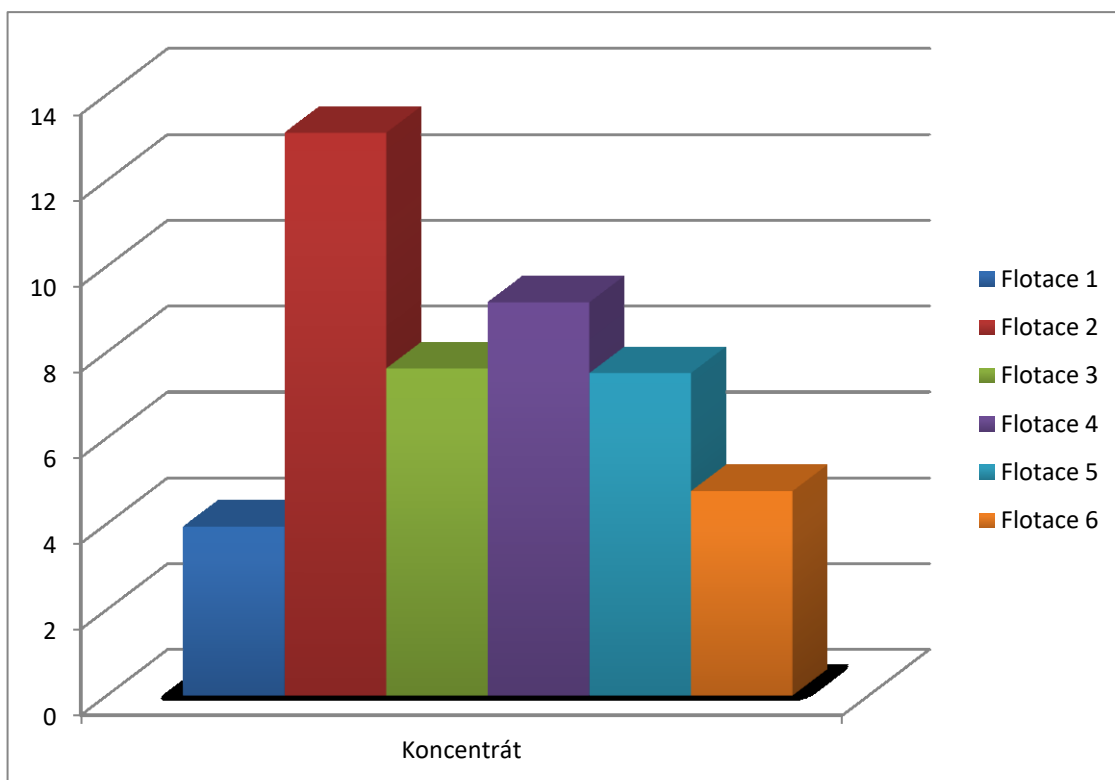
Obrázek 29 - graf obohacení Cu v provedených flotacích



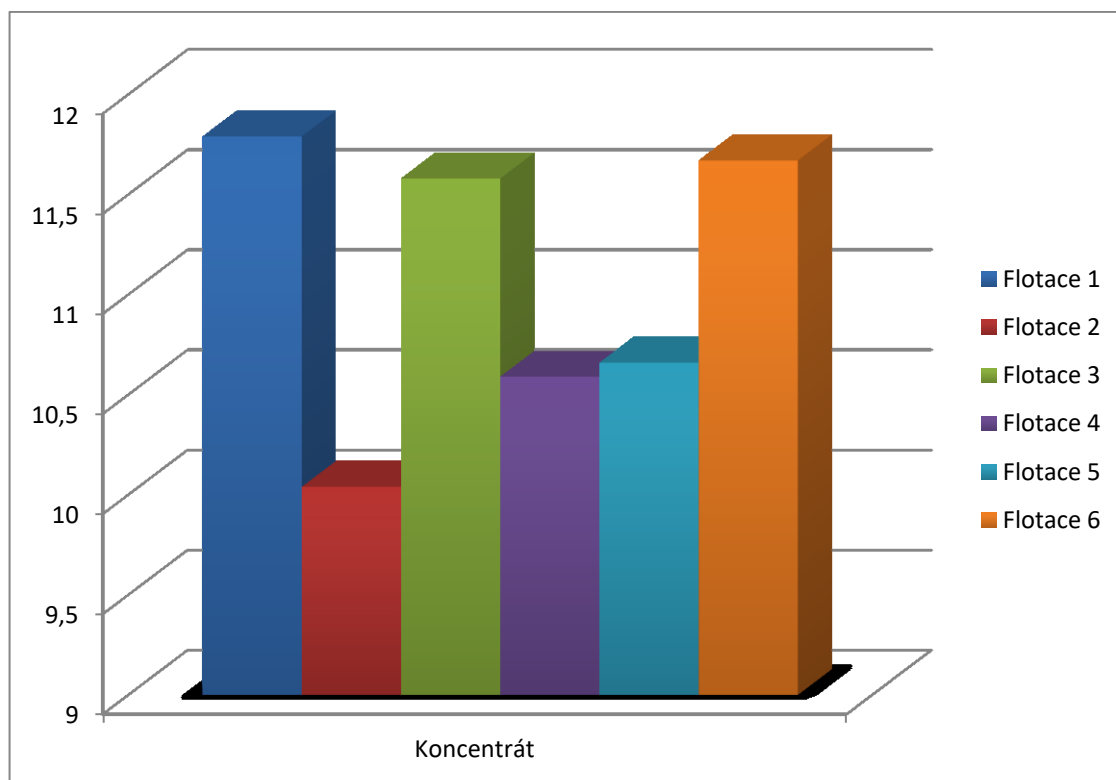
Obrázek 30 - graf srovnání výnosů a kovnatostí Ag v provedených flotacích



Obrázek 31 - graf srovnání výnosů a kovnatostí Cu v provedených flotacích



Obrázek 32 – graf srovnání účinností provedených flotací při získávání Ag



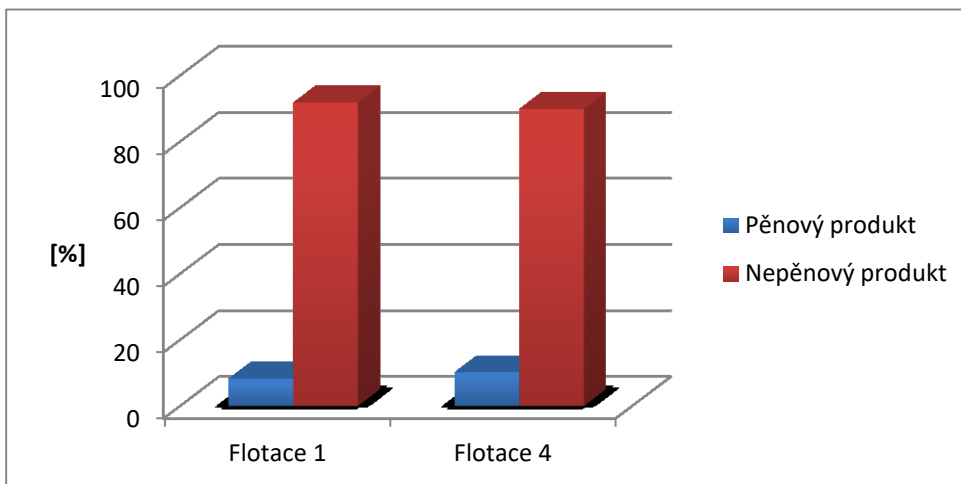
Obrázek 33 - graf srovnání účinností provedených flotací při získávání Cu

V rámci této práce byly u některých flotací provedeny analýzy vzorků, za účelem zjištění výskytu zlata a také zinku.

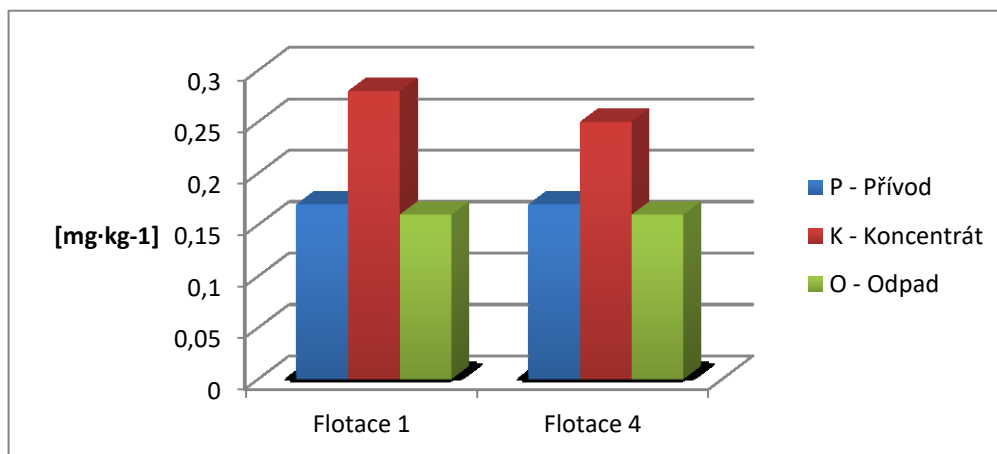
Pro stanovování hodnot zlata byly vybrány flotační pokusy číslo 1 a 4, tedy ty pokusy, ve kterých roli sběrače plnil pimentovníkový olej. Flotace s tímto flotačním činidlem byly vybrány cíleně, na základě již zmíněného projektu, provedeného v Austrálii. Z důvodu zajištění oleje, který obsahuje potřebné látky, aby mohl plnit funkci sběrače, byl ovšem eukalyptový olej, používaný v již zmíněném projektu, nahrazen právě pimentovníkovým. Stanovování zlata ve strusce pocházející z Kutné Hory bylo zvoleno na základě jiné diplomové práce z roku 2016 [65], kde se její autor v závěru své práce zmiňuje o skutečnosti, že obsah zlata v některých vzorcích vykazoval až překvapivě vysoké hodnoty.

Na obrázku 34 jsou pro názornost uvedeny hodnoty získané pro výtěžnost v těchto dvou provedených pokusech, obrázek 35 znázorňuje kovnatost. Na obrázku 36 jsou zachyceny hodnoty obohacení provedených flotačních pokusů, obrázek 37 následně udává

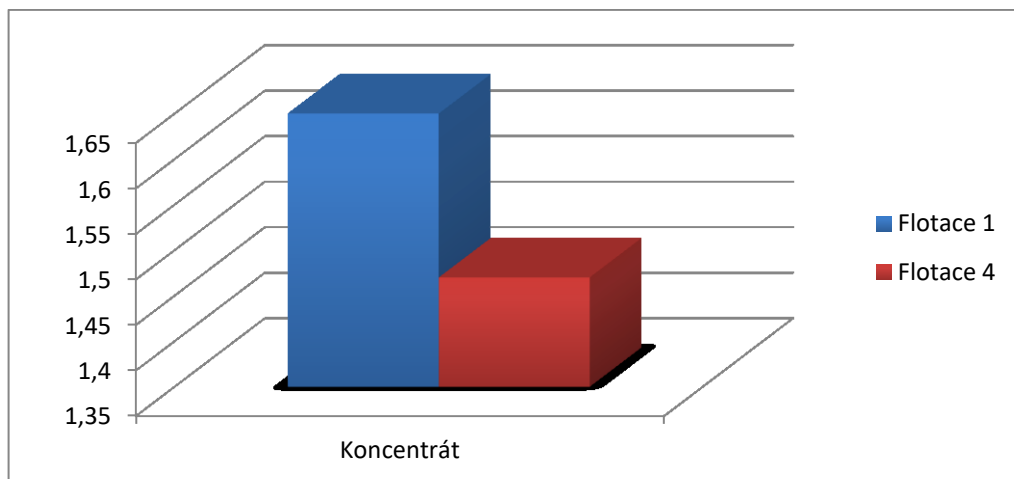
srovnání výnosů s kovnatostí zlata a na obrázku č. 38 jsou graficky znázorněny hodnoty získané pro účinnost.



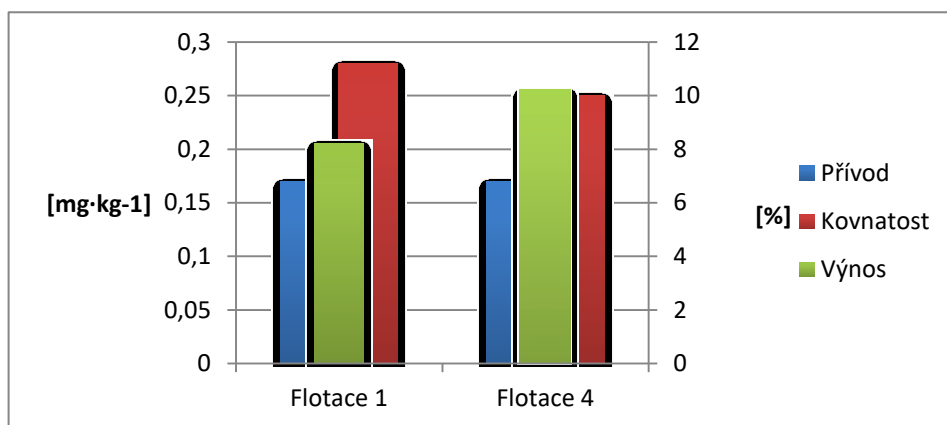
Obrázek 34 - graf výtěžnosti ve flotaci č. 1 a 4



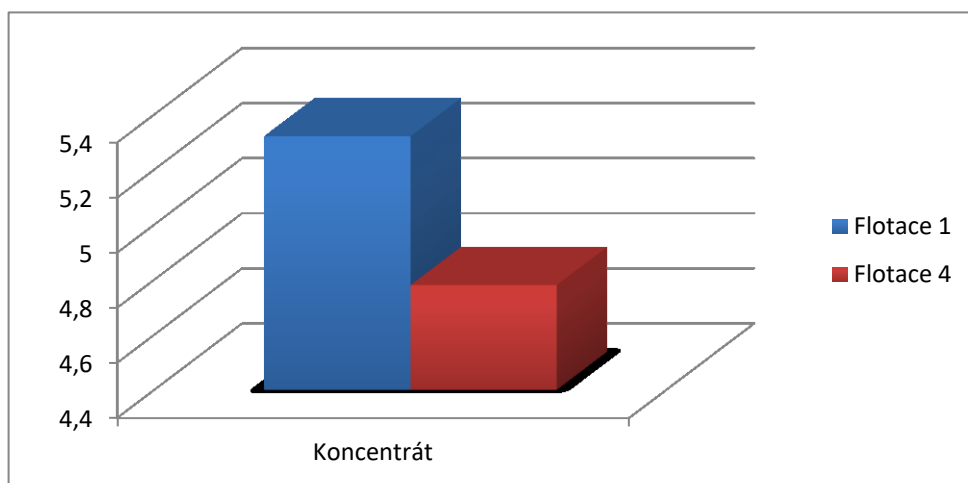
Obrázek 35 - graf kovnatosti Au ve flotaci č. 1 a 4



Obrázek 36 - graf pro obohacení Au ve flotaci č. 1 a 4



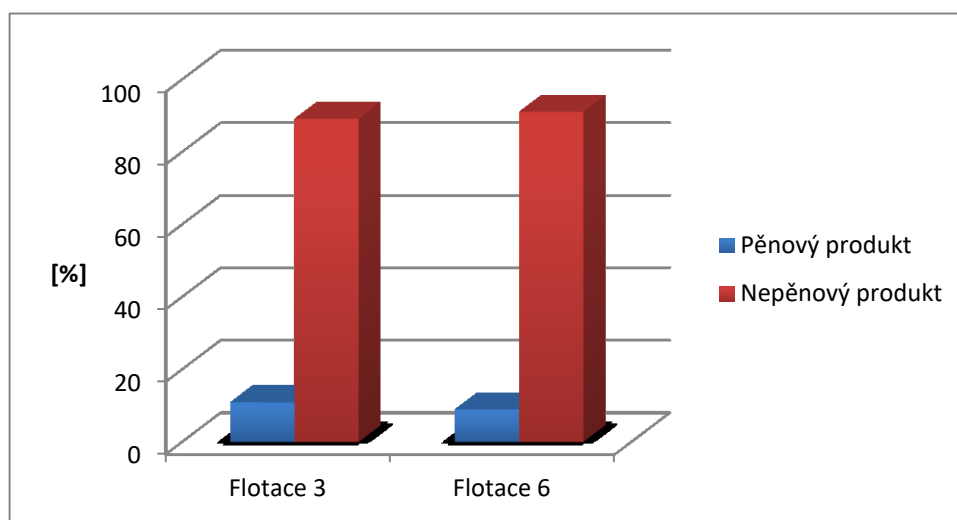
Obrázek 37 - graf srovnání výnosů a kovnatosti Au ve flotaci č. 1 a 4



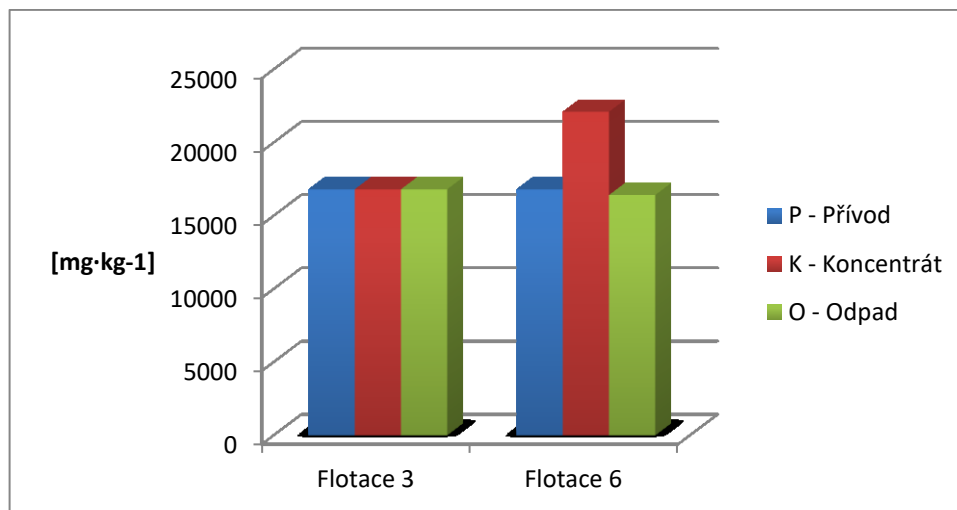
Obrázek 38 - graf účinnosti při flotaci Au

Hodnoty získané pro zinek byly stanovovány na základě předběžné analýzy, která byla provedena v laboratoři VŠB-TUO. Při této analýze se zjistilo, že obsah zinku v tomto vzorku je velice vysoký a jeho obsah dokonce více než dvakrát převyšuje výskyt dalších kovů zde zastoupených. Hodnoty zinku byly analyzovány v rámci flotačních pokusů č. 3 a 6, kde roli sběrače plnil IPXS. Tyto flotační pokusy byly pro stanovování zinku vybrány opět záměrně, na základě flotací prováděných v Irsku.

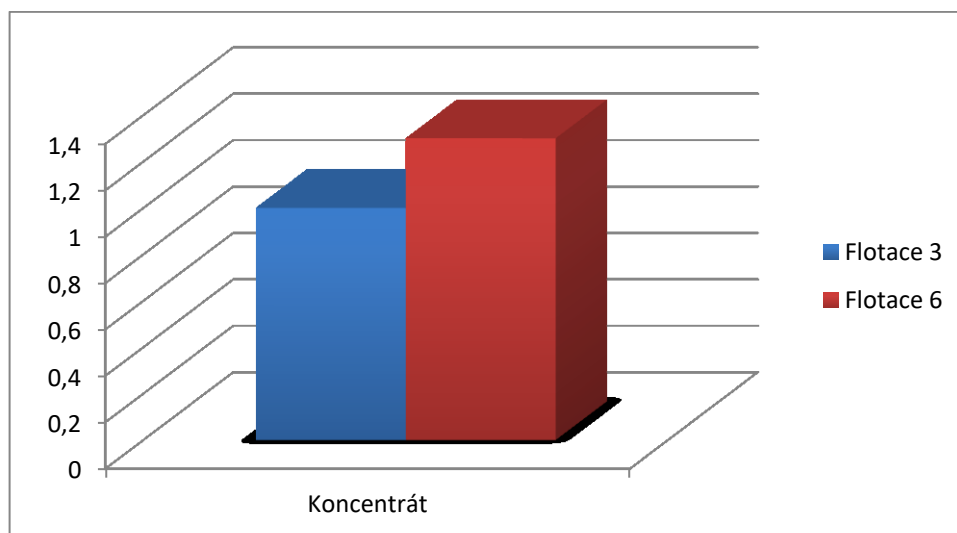
Obrázek 39 znázorňuje hodnoty získané pro výtěžnost ve vybraných flotacích, na obrázku 40 jsou znázorněny hodnoty získané pro jeho kovnatost, obrázek 41 představuje srovnání obohacení dvou zvolených flotací, na obrázku 42 je dále zachyceno srovnání výnosů a kovnatosti a na obrázku 43 můžeme vidět graf, znázorňující srovnání hodnot získaných pro účinnost flotací č. 3 a 6.



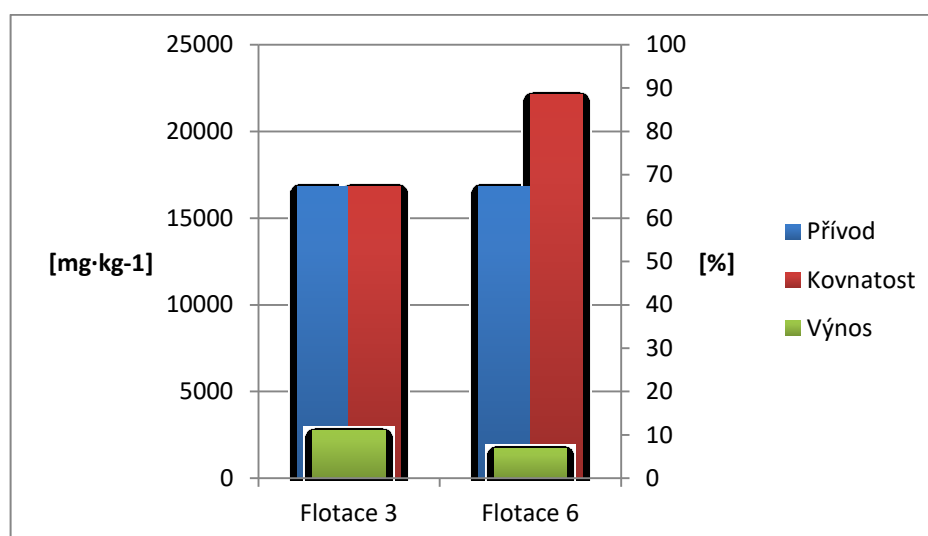
Obrázek 39 - graf výtěžnosti ve flotaci č. 3 a 6



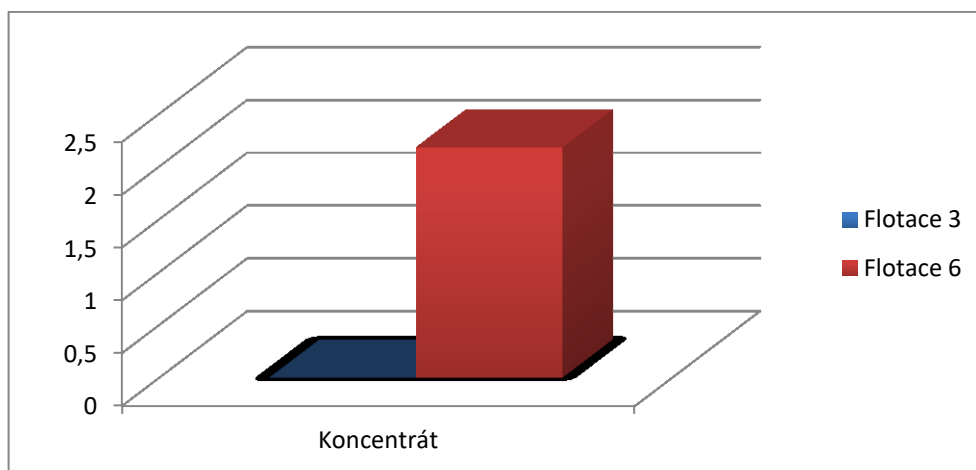
Obrázek 40 - graf kovnatosti ve flotaci č. 3 a 6



Obrázek 41 - graf obohacení ve flotaci č. 3 a 6



Obrázek 42 - graf pro srovnání výnosů a koncentrátů ve flotaci č. 3 a 6



Obrázek 43 - graf účinnosti při flotaci Zn

8.4.8 Srovnání výsledků

Pro srovnání některých získaných hodnot bylo vybráno několik prací z minulých let [62] [63] [64] [65], zabývajících nabohacováním stříbra do flotačního koncentrátu. Tyto práce byly vybrány zejména proto, že odebrané vzorky strusky pro provedené pokusy byly odebrány ve stejné lokalitě. Ve všech případech se jedná o okolí města Kutná Hora.

V první srovnávané práci z roku 2012 [62] je jako nejlépe vyhodnocený pokus uváděn ten, jehož hodnota kovnatosti dosáhla $292 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ z původních $124 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Koncentrát byl obohacen 2,4 krát. Hodnota výnosu tohoto pokusu je 13,91 %, výtěžnost dosáhla 33,41 %. Při této flotaci byl jako sběrač použit ethylxantogenan sodný (300 g/t suroviny). Borovicový olej (3 kapky) plnil roli pěniče. Hmotnost navážky byla 50 g/dm^3 . (Pokus 1)

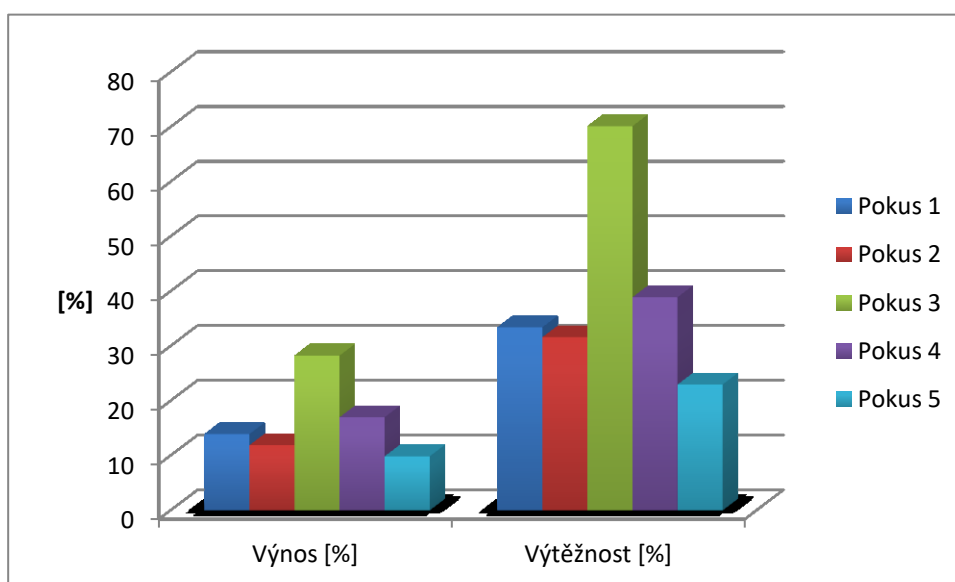
Druhá srovnávaná práce z roku 2013 [63] uvádí jako nejlepší výsledek při flotaci strusky, za účelem nabohacení stříbra do koncentrátu pokus, jehož hodnoty jsou následující: výnos 11,88 %, kovnatost $316 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ z původních $118,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, obohacení 2,7 a výtěžnost 31,6 %. Použitým sběračem byl v tomto případě ethylxantogenan sodný, společně s isobutylxantogenanem sodným v poměru 1:1. Čtyři kapky borovicového byly aplikovány jako pěnič. Hmotnost navážky při tomto pokusu byla 50 g/dm^3 . (Pokus 2)

Třetí srovnávaná práce je z roku 2015 [64] a jako nejúspěšněji vyhodnocený pokus uvádí ten, jehož hodnoty jsou: výnos 28,24 %, kovnatost $111 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ z původních $44,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, obohacení 2,48 a výtěžnost 70,13 %. Sběračem použitým při této flotaci byl amylxantogenan draselný (100 g/t) a roli pěniče zde opět plnil borovicový olej. (Pokus 3)

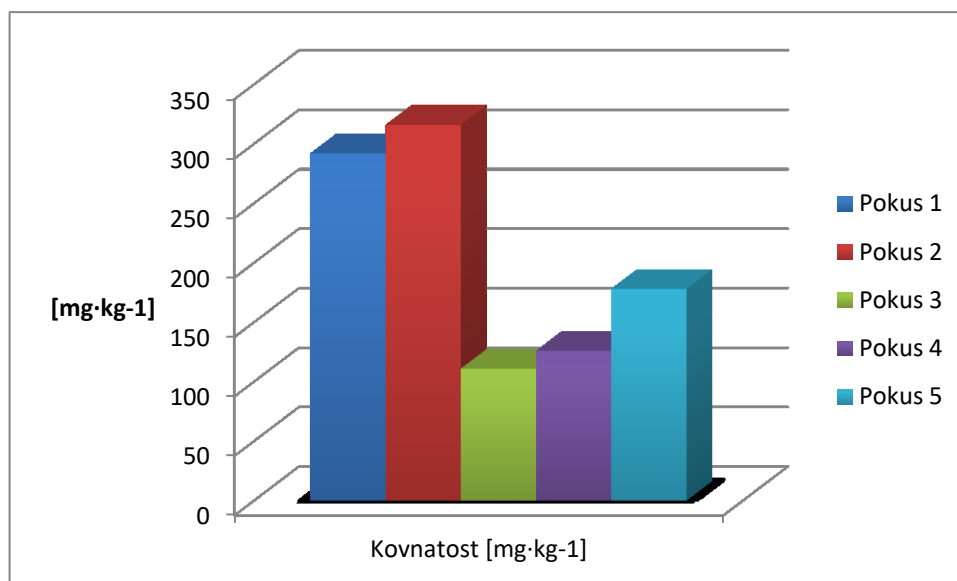
Jako nejlépe vyhodnocený pokus ze čtvrté srovnávané práce z roku 2016 [65] je uváděn ten, který vykazuje následující hodnoty: výnos koncentráту 16,98 %, kovnatost 126 mg·kg⁻¹ z původních 55 mg·kg⁻¹, obohacení 2,3 a výtěžnost 38,9 %. Sběrač použitý při tomto flotačním testu byl roztok ODA + HCl (20 ml) a 5 kapek borovicového oleje zde plnilo roli pěniče. Hmotnost navážky byla opět stanovena na 50 g/dm³. (Pokus 4)

Po porovnání jednotlivých analýz, zhotovených na základě provedených pokusů lze konstatovat, že nejlepším výsledkem této práce při pokusu o nabohacení stříbra bylo dosaženo při flotaci č. 2, kde byla hodnota výnosu koncentráту stanovena na 9,85 %. Kovnatost stříbra byla určena na 178 mg·kg⁻¹. Hodnota získaná pro výtěžnost byla v tomto případě 22,96 % a pro účinnost 13,11 %. Obohacení obsahu stříbra v koncentráту bylo podle těchto získaných informací 2,33 krát. Při této flotaci byl jako sběrač použit roztok ODA + HCl a jako pěnič borovicový olej. (Pokus 5)

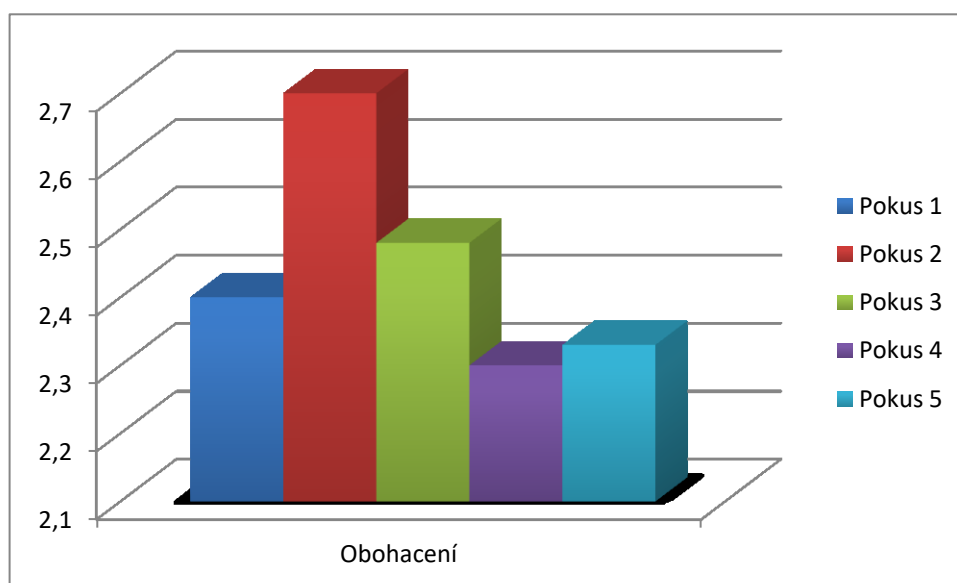
Pro větší přehled jsou tyto informace znázorněny na následujících grafech. Obrázek 44 porovnává nejvyšší dosažené výsledky výnosů a výtěžností pokusů, které byly ve srovnávaných pracích uváděny jako nejúspěšnější. Obrázek 45 srovnává nejvyšší hodnoty pro kovnatosti daných pokusů a Obrázek 46 znázorňuje porovnání nejlepších dosažených obohacení.



Obrázek 44 - graf srovnání výnosů a výtěžností



Obrázek 45 - graf srovnání kovnatostí



Obrázek 46 - graf srovnání obhacení

Z tohoto srovnání vyplývají následující zjištění: Průměrná hodnota výnosu koncentrátu je 16,17 %, průměr výtěžností je 39,4 % a průměrné obhacení je 2,44.

Nejnižší hodnota výnosu koncentrátu byla zjištěna u Pokusu 5 (9,85 %). Nejvyšší kovnatosti bylo dosaženo v Pokusu 2 ($316 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

9 Závěr

Cílem této práce bylo nabohacení vybraných kovů do koncentráту, při procesu, který se nazývá flotace. Aby bylo dosaženo co nejlepších výsledků, je třeba docílit pomocí této technologie co nejvyšší kovnatosti koncentráту a také výtěžnosti daného kovu. Hodnoty kovnatosti stanovené u přírodního vzorku, pro dané prvky, byly velice různorodé. Nejnižší zastoupení ve zkoumaném vzorku zaujímalo zlato – pouhých $0,17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, následovalo stříbro – $76,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, dále měď - $1790 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a hojně zastoupený zinek – $16800 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

V rámci šesti provedených flotací byly použity tři různé typy sběračů. Anionaktivní IPXS, kationaktivní ODA a nepolární pimentovníkový olej. Každý z těchto sběračů byl použit ve dvou flotacích se stejným dávkováním flotačních činidel a také se stejnou navázkou, avšak rozdíl mezi těmito flotacemi spočíval v tom, že u pokusů s vyšším pořadovým číslem byl vzorek připravené strusky 60 minut loužen v $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$.

Hodnoty vzešlé z analýz provedených v laboratoři Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě neprokázaly významnou účinnost provedených flotačních testů.

Jako nejúčinnější test, v případě, kdy byl navyšován obsah stříbra, lze uvést flotaci č. 2. V tomto případě byl výnos koncentráту $9,85 \%$ a kovnatost byla navýšena na $177,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Účinnost byla v tomto případě stanovena na $13,11 \%$. Výtěžnost byla stanovena na pouhých $22,96 \%$. Obohacení bylo více než dvojnásobné, jeho přesná hodnota je $2,33$. V tomto flotačním pokusu byl použit jako sběrač roztok ODA+HCl a jako pěnič borovicový olej.

Po obdržení výsledků bylo možné stanovit také hodnoty, které se týkají dalšího zkoumaného prvku – mědi. Ani zde nebyla zjištěna velká účinnost provedených flotačních pokusů. V tomto případě byla jako nejlepší pokus vyhodnocena flotace č. 6. Při výnosu koncentráту $6,81 \%$ zde bylo zjištěno navýšení kovnatosti mědi na $4850 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, což odpovídá $2,7$ násobnému obohacení. Výtěžnost v tomto případě nepřesáhla hranici 20% a byla stanovena na $18,45 \%$. Účinnost flotace byla při tomto pokusu $11,67 \%$. V rámci této flotace byl jako sběrač použit IPXS a roli pěniče plnil opět borovicový olej. Tento vzorek byl před procesem samotné flotace 1 hodinu loužen v $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$. Zajímavostí je, že kationaktivní i anionaktivní sběrače dosáhly vyšší kovnatosti ve vzorcích loužených,

kdežto nepolární sběrač vykazoval vyšší kovnatost v prvním vzorku, tudíž bez působení kyseliny.

Při určování hodnot pro zinek byla v případě flotace číslo 3 zjištěna dokonce nulová účinnost flotace, což v praxi znamená, že se hodnoty jeho obsahu pro přírodní vzorek a vzorek po flotaci nelišily a vykazovaly stejnou míru kovnatosti, v tomto případě $16800 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Podmínky, za kterých probíhala flotace č. 6, zapříčinily alespoň mírné obohacení zinku, avšak pouze o 1,3 krát oproti přírodnímu vzorku. S účinností 2,18 %, výtěžností koncentrátu 8,95 % a navýšením kovnatosti na $22100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ani v tomto případě nelze hovořit o úspěšnosti flotace. Pro zjišťování hodnot Zn byly vybrány flotační pokusy č. 3 a 6, tedy ty, ve kterých roli sběrače plnil IPXS a pěničem byl borovicový olej. Hodinové loužení v $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ tedy alespoň mírně podpořilo flotovatelnost zinku.

Zlato, jako prvek se suverénně nejnižším zastoupením bylo také podrobeno analýze. Pro určení výskytu zlata byly zvoleny flotace č. 1 a 4. V obou případech se zlato povedlo mírně nabohatit a to konkrétně 1,65 krát, respektive 1,47 krát. Úspěšnější byl tedy flotační pokus č. 1, kde bylo při výnosu 8,22% dosaženo účinnosti 5,32%, výtěžnosti 13,54 %. Obohacení 1,65 odpovídá nárůstu kovnatosti na $0,28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ z původních $0,17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Jako pokusy, ve kterých se zjišťovaly hodnoty zlata, byly vybrány flotace č. 1 a 4. Zde plnil roli sběrače pimentovníkový olej a pěničem byl borovicový olej.

Na základě nepříznivých výsledků flotací provedených v rámci této práce bych při případných dalších výzkumech, zabývajících se podobnou problematikou, doporučil vyzkoušet tyto flotační reagenty při odlišných podmínkách, jakými mohou být např. pozměněná navážka vzorku, zvýšení nebo snížení dávky použitého sběrače, popřípadě kombinace více sběračů najednou. Flotaci může výrazně ovlivnit také přidání tzv. řídicích flotačních reagentů, jakými jsou aktivátory a depresory.

Seznam použitých zdrojů

- [1] KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Recyklace ušlechtilých kovů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, 100 s. ISBN 80-7078-939-5.
- [2] KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Recyklace neželezných kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, fakulta Metalurgie a materiálového inženýrství, 2003, 57 s. ISBN 80-248-0485-9.
- [3] PAWLEK, Franz. *Metallhüttenkunde*. Berlin: Walter de Gruyter, 1983, xxii, 865 s. ISBN 3-11-007458-3.
- [4] KURSA, M.: *Význam hutnictví neželezných kovů v oblasti rozvoje nových materiálů a technologií, perspektivy a koncepce výuky do této problematiky*. Hradec nad Moravicí: VŠB TU Ostrava, 1999, 18 s. bez ISBN.
- [5] KEPÁK, František. *Průmyslové odpady*. Vyd. 2. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2010. ISBN 978-80-7414-228-4.
- [6] KURAŠ, Mečislav. *Odpadové hospodářství*. Vyd. 1. Chrudim: Ekomonitor, 2008, 143 s. ISBN 978-80-86832-34-0.
- [7] *Investigation of the possibility of copper recovery from the flotation tailings by acid leaching: Journal of Hazardous Materials. 1 October 2008. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.01.063.*
Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389408000940>
- [8] KUCHAR, Lumír. *Hutnictví neželezných kovů*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1987, 337 s.
- [9] BOTULA, Jiří. *Recyklace odpadů kovových a kovonosných*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003, 86 s. ISBN 80-248-0495-6.
- [10] NĚMEC, Milan, Bohumír BEDNÁŘ a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie slévání*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 217 s. ISBN 978-80-01-04395-0.
- [11] BÍLEK, J., HOFFMAN, V., TRDLÍČKA, Z.: *Kutnohorské odvaly*. Sborník Oblastního muzea v Kutné Hoře, řada geologicko-báňská, [s.a.] č. 7.

- [12] KOHOUTEK, J.,: *Geologie kutnohorského rudního obvodu*. Sborník Oblastního muzea v Kutné Hoře, řada geologicko-báňská, č. 8 - 9.
- [13] ORASKÝ, František. *Tisíc let kutnohorského dolování a mincování*. Příbram: Rudné doly, [198-]. 89 s.
- [14] PAULIŠ, Petr. *Mineralogické lokality okolí Kutné Hory*. Kutná Hora: Kuttna, 1999. ISBN 80-902719-0-1.
- [15] VANĚK, V., VELEBIL, D.: *Staré hutnictví stříbra*. In: Stříbrná Jihlava 2007: studie k dějinám hornictví a důlních prací : příspěvky z konference Stříbrná Jihlava 04.-07.10.2007 v Jihlavě : věnováno Pavlu Rousovi k 60. narozeninám = Silberne Stadt Jihlava 2007 : Studien zur Geschichte des Bergbaus und der Bergwerke : Beiträge aus der Konferrenz Silberne Stadt Jihlava 04.-07.10.2007 in Jihlava (Iglau) : Festschrift für Pavel Rous zum 60. Geburtstag. Jihlava: Muzeum Vysočiny Jihlava, 2007, s. 188-205. Archeologické výzkumy na Vysočině. ISBN 978-80903588-4-3.
- [16] PAULIŠ, Petr a MIKUŠ, Miloslav. *Stříbrná stezka - hornická naučná stezka v Kutné Hoře: stručná historie kutnohorského dolování = Der Montanhistorische und Naturlehrpfad von Kutná Hora (Kuttenberg) = Silver pathway - instructional pathway in Kutná Hora*. Kutná Hora: Kuttna, 1998. 60 s. ISBN 80-238-2963-7.
- [17] NGUYEN, A.V. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering:FrothFlotation [online]. 2013[cit. 2017-02-02]. Dostupný také z WWW: <http://www.sciencedirect.com/>.
- [18] POLAT,H.; ERDOGAN, D. Journal of hazardous materials: heavy metal removal from waste waters by oinflation [online]. 2007[cit. 2017-02-02]. Dostupný z WWW: <http://www.sciencedirect.com/>.
- [19] JIANYONG,ZHU;WEIHUA, GUI.; CHUNHUA,YANG.;HONGLEI, XU.;XIAOLI, WANG.Control Engineering Practice:Propability density fiction of bubble size based reagent dosage predictive control for copper roughing flotation [online]. 2014[cit. 2017-02-02]. Dostupný z WWW: <http://www.sciencedirect.com/>.
- [20] SHEAN, B. J.;CILLIERS, J.J.International Journal of Mineral Processing:A review of froth flotation kontrol [online]. 2011[cit. 2017-02-02]. Dostupný také z WWW: <http://www.sciencedirect.com/>.

- [21] HADLER, K.;GREYLING, M.; PLINT, N.; CILLIERS, J. J. Mineral engineering: The efekt of depth on air recovert and flotation performance[online]. 2012[cit. 2017-02-04]. Dostupný také z WWW: <http://www.sciencedirect.com/> .
- [22] KMEŤ, Stanislav. *Flotácia*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1992, 350 s. ISBN 80-05-00971-2.
- [23] FEČKO, Peter et al. Environmentální biotechnologie. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 180 s. ISBN 80-248-0700-9 (brož.).
- [24] FEČKO, P. Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů. VŠB-TU Ostrava, 2001. 150 s. ISBN 80-7078-921-2.
- [25] KAŠPÁRKOVÁ, A. Aplikace pyrolýzních olejů ve flotaci uhlí. Ostrava, 2010. 75s. Dizertační práce. VŠB-TUO.
- [26] NGUYEN, A., V., SCHULZE, H., J: *Colloidal science of flotation*. Marcel Dekker, Inc., New York, 2004, ISBN 0-8247-4782-8
- [27] WILLS, B.,A. a T., J. NAPIER-MUNN. *Mineral Processing Technology*. Oxford: Elsevier, 2006. 7. ISBN 978-0-7506-4450-1.
- [28] SRDJAN, M. ; BULATOVIC .Handbook of Flotation reagents:Action of Flotation Frothers [online] 2007[cit.2017-02-07]. Dostupný z WWW<www.sciencedirect.com>.
- [29] CANHUI, XU. ; WEIAVA,GUI.; GHUNAVA, YANG.; MONGQIU, ZHU.; YIQIU, LIN. ; CAO, SHI. Mineral engineering: Flotation process fault detection using output pdf of bubble size distribution [online] 2012[cit.2017-02-01]. Dostupný z WWW<www.sciencedirect.com>.
- [30] Exkurze České geologické společnosti: Studie - Kutnohorský rudní revír. *Česká geologická správa* [online]. 2002, , 1-22 [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <http://mu.kutnahora.cz/file/948/download/>
- [31] GIBSON, D.M. Cuprummetallicum: British Homoeopathic journal [online]. London, 1972 [cit. 2017-02-08]. ISBN 10.1016/S0007-0785(72)80054-1. Dostupný také z WWW: <www.sciencedirect.com>.
- [32] MACEK, Karel. Kovové materiály. Vyd. 1. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006, 164 s. ISBN 80-010-3513-1.

- [33] ZÁVADA, J.; BOUCHAL, T. Chemické metody zpracování nerostných surovin a odpadů. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. 99 s. ISBN 978-80-248-2356-0(brož.).
- [34] ANDRÁŠ, P., DIRNER, V. ;TURISOVÁ, I. ;VOJTKOVÁ, H. Staré báňské zátěže opuštěných Cu-ložisek 1.vydání Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o.,2014.ISBN 978-80-86832-75-3
- [35] GRAEDEL, T.E. ; BERTRAM, M. ; FUSE, K.; GORDON, R.B. ; LIFSET,R. ;RECHBERGER,H. ;SPATARI,S. Ecologica IEconomics:The compentorary European copper cycle: the characterization of technological copper cycles[online]. 2002 [cit. 2017-02-09]. Dostupný také z WWW: <www.sciencedirect.com>.
- [36] Surovinové zdroje České republiky: nerostné suroviny : (stav 2005) [online]. Praha: Geofond, 2006, 262 s. [cit. 2017-02-10]. ISBN 1801-6693. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/rocenka-2005.pdf>
- [37] CROWSON, Phillip. Resources policy: The copper industry [online]. 2007 [cit. 2017-02-10]. ISBN 0301-4207. Dostupný také z WWW: <www.sciencedirect.com>
- [38] ĎUŘA, Rudolf a Luboš REJL. *Svět drahých kamenů*. Vyd. 4. Praha: Granit, 2006, 190 s. ISBN 80-7296-052-0.
- [39] JIRÁSEK, J., SIVEK, M.: *Ložiska nerostů*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1276-2.
- [40] Starý, J.; Kavina, P.; Vaněček, M.; Sitenský, I.; Kotková, J.; Hodková, T. Surovinové zdroje České republiky 2010 [online]; Geofond, Říjen 20010; pp 391–397. <http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/SUROVINOVEZDROJE-CESKE-REPUBLIKY-2010.pdf> (accessed Feb 18, 2015).
- [41] COYONE, Celia. Přírodní bohatství země. 1. vyd. Praha: Reader's Digest Výběr, s.r.o., 2010. 160 s. ISBN 9788074060885.
- [42] STRUŽ, Jan; STUDÝNKA, Bohumil. Zlato: příběh neobyčejného kovu. 1. vyd. Praha: Grada, 2005. 336 s. ISBN 8024709023.

- [43] BÍNA, J., DILINGER, M. Malá encyklopédia chémie. Praha: STNL - Nakladatelství technické literatury, 1976.
- [44] MARSDEN, John a Iain HOUSE. The chemismy of gold extraction. 2nd ed. Littleton, Colo.: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, c2006. ISBN 978-087-3352-406.
- [45] BERNARD, Jan Hus a Rudolf ROST. Encyklopedický přehled minerálů. Vyd. 1. Praha: Academia, 1992, 701 s. ISBN 80-200-0360-6.
- [46] Trendy ve světové těžbě zlata. In: Akcie a trhy [online]. 13. 11. 2013 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.akcieatrhy.cz/cz/trendy-ve-svetove-tezbe-zlata>.
- [47] MORÁVEK, Petr: Surovinový potenciál zlata České republiky. Asociace České zlato [online]. 2013 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.ascez.cz/publikace/2013/01/>.
- [48] WILLIAMS, C., Y. PENG a R. DUNNE. Eucalyptus oils as green collectors in gold flotation. *Minerals Engineering* [online]. Australia, 2013, **2012**(volume 42), 62-67 [cit. 2017-01-06]. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.12.003>. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089268751200386X>
- [49] INCHEM. *Octadecylamine* [online]. EU: International Programme on Chemical Safety and the European Commission, 2012 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics1365.htm>
- [50] OCTADECYLAMINE. *Material Safety Data Sheet* [online]. Santa Cruz, California: Santa Cruz Biotechnology, Inc., 2009 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://datasheets.scbt.com/sc-250608.pdf>
- [51] CHEN, Yao, Xin-Wei DOU, Meng-Meng ZHANG, Xuan LU, Yu-Jun QIN, Pu ZHANG a Zhi-Xin GUO. The fabrication of flower-like graphene/octadecylamine composites. *Chinese Chemical Letters* [online]. 2015, 26(9), 1144-1146 [cit. 2017-02-15]. DOI:10.1016/j.cclet.2015.05.045.ISSN10018417.
- [52] PUBCHEM: CHEMISTRY DATABASE. *PubChem: Octadecylamine* [online]. USA: National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine, 2016 [cit. 2017-02-15].
- [53] CABEZON, L.M., M. CABALLERO a J.A. PEREZ-BUSTAMANTE. *Simultaneous separation of copper, cadmium and cobalt from sea-water by co-flotation*

with octadecylamine and ferric hydroxide as collectors [online]. Spain, 1984, , 597-602 [cit. 2017-02-16]. DOI: DOI: 10.1016/0039-9140(84)80176-9. ISSN 00399140. Dostupné z: <http://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0000803474&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Simultaneous+separation+of+copper%2c+cadmium+and+cobalt+from+sea+water+by+co-flotation+with+octadecylamine+and+ferric+hydroxide+as+collectors&st2=&sid=43E028E4BA74E9EB4A6B654D32342890.WXhD7YyTQ6A7Pvk9AlA%3a120&sot=b&sdt=b&sl=154&s=TITLE-ABS-KEY%28Simultaneous+separation+of+copper%2c+cadmium+and+cobalt+from+sea+water+by+co-flotation+with+octadecylamine+and+ferric+hydroxide+as+collectors%29&relpo>

[54] FLOTACE NEROSTNÝCH SUROVIN A ODPADŮ. *Flotace nerostných surovin a odpadů* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/Flotace/>

[55] Příručka žárového zinkování. Ostrava: AČSZ, 2011. ISSN ISBN 978-80-260-3324-0. 56 s

[56] Zinek. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 9.2.2007, last modified on 5.3.2011 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zinek> >.

[57] MAJER, Jiří. Rudné hornictví v Čechách, na Moravě a ve Slezsku : Obrazy z dějin těžby a zpracování. 1. vydání. Praha : Libri, 2004. 250 s. ISBN 80-7277-222-8.

[58] JIRÁSEK, Jakub; SIVEK, Martin; LÁZNIČKA, Petr. Ložiska Nerostů [online]. Ostrava : Anagram, 2010 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z WWW: < http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska_cr.html#ZINEK >. ISBN 978-80-7342206-6.

[59] Zinek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zinek#Z.C3.A1kladn.C3.AD_fyzik.C3.A1ln.C4.9B-chemick.C3.A9_vlastnosti

- [60] Zinek a jeho sloučeniny (jako Zn). In: Integrovaný registr znečišťování: Ministerstvo životního prostředí České republiky [online]. Praha: CENIA a Ministerstvo životního prostředí, 2011 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/106>
- [61] HALLEWELL, Mike, Nigel MACDONALD, Robert THORPE a Paul LAFRAMBOISE. STABILIZATION OF LEAD AND ZINC FLOTATION CIRCUITS AT GALMOY MINE, KILKENNY, IRELAND. *SGS MINERALS SERVICES* [online]. 2005, **2005**(15), 1-13 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.sgsgroup.com.ua/~media/Global/Documents/Technical%20Documents/SGS%20Technical%20Papers/SGS%20MIN%20TP2005%2015%20Stabilization%20of%20PB%20and%20Zn%20Flotation%20Circuits.pdf>
- [62] ZBOŘIL, Jaroslav. *Získávání neželezných kovů z metalurgických odpadů po zpracování polymetalických rud*. Ostrava, 2012. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [63] TIRPÁK, Jiří. *Flotace kovonosných odpadů*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [64] KOVÁŘ, Lukáš. *Využití bakterie Acidithiobacillus ferrooxidans při flotaci kovonosných odpadů s obsahem stříbra*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
- [65] KUBEČKA, Jan. *Získávání Ag – koncentráту z odpadních materiálů pomocí flotace*. Ostrava, 2016. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Seznam použitých zkratk

VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
°C	stupeň Celsia
IPXS	isopropylxantogenan sodný
ODA	oktadecylamin
PEG 600	polyethylenglykol 600
JAR	Jihoafrická republika
USA	Spojené státy americké
amu	hmotnostní atomová jednotka
KAX	amylxantogenan draselný
MIBK	methylišobutyl keton
HCl	kyselina chlorovodíková
H ₂ SO ₄	kyselina sírová
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

Seznam obrázků

Obrázek 1 - proces flotace [21].....	10
Obrázek 2 – zlato [46]	15
Obrázek 3 – stříbro [40].....	17
Obrázek 4 – měď [35].....	19
Obrázek 5 – zinek [56].....	21
Obrázek 6 - odval Markovičky [foto autor].....	27
Obrázek 7 - odebraný vzorek strusky [foto autor].....	28
Obrázek 8 - flotátor VRF-1 [foto autor]	29
Obrázek 9 - Flotace č. 1 - 1. Minuta [foto autor].....	31
Obrázek 10 - Flotace č. 1 - 7. Minuta [foto autor].....	31
Obrázek 11 - vývěva s připraveným filtračním papírem [foto autor].....	32
Obrázek 12 - Shrabovací zařízení flotátoru [foto autor].....	32
Obrázek 13 - ODA+HCl [foto autor].....	34
Obrázek 14 - Flotace 2, 1. Minuta [foto autor].....	35
Obrázek 15 - Flotace 2, 10. Minuta [foto autor].....	35
Obrázek 16 - Flotace 3, 1. Minuta [foto autor].....	37
Obrázek 17 - Flotace 3, 10. Minuta [foto autor].....	38
Obrázek 18- Flotace 4, tvorba pěny bez přidání pěniče [foto autor]	40
Obrázek 19 - Flotace 4, 6. Minuta [foto autor].....	40
Obrázek 20 - Flotace 5, 1. Minuta [foto autor].....	43
Obrázek 21 - Flotace 5, po 5. Minutě [foto autor].....	43
Obrázek 22 - Flotace 6, po 4. Minutě [foto autor].....	45
Obrázek 23 - graf výnosů provedených flotací.....	47
Obrázek 24 - graf výtěžností Ag v provedených flotacích	47

Obrázek 25 - graf výtěžností Cu v provedených flotacích	48
Obrázek 26 - graf kovnatostí Ag v provedených flotacích	48
Obrázek 27 - graf kovnatostí Cu v provedených flotacích	49
Obrázek 28 - graf obohacení Ag v provedených flotacích	49
Obrázek 29 - graf obohacení Cu v provedených flotacích	50
Obrázek 30 - graf srovnání výnosů a kovnatostí Ag v provedených flotacích.....	50
Obrázek 31 - graf srovnání výnosů a kovnatostí Cu v provedených flotacích	51
Obrázek 32 – graf srovnání účinností provedených flotací při získávání Ag.....	51
Obrázek 33 - graf srovnání účinností provedených flotací při získávání Cu.....	52
Obrázek 34 - graf výtěžnosti ve flotaci č. 1 a 4	53
Obrázek 35 - graf kovnatosti Au ve flotaci č. 1 a 4	53
Obrázek 36 - graf pro obohacení Au ve flotaci č. 1 a 4	54
Obrázek 37 - graf srovnání výnosů a kovnatosti Au ve flotaci č. 1 a 4.....	54
Obrázek 38 - graf účinnosti při flotaci Au	54
Obrázek 39 - graf výtěžnosti ve flotaci č. 3 a 6	55
Obrázek 40 - graf kovnatosti ve flotaci č. 3 a 6	56
Obrázek 41 - graf obohacení ve flotaci č. 3 a 6	56
Obrázek 42 - graf pro srovnání výnosů a koncentrátů ve flotaci č. 3 a 6	56
Obrázek 43 - graf účinnosti při flotaci Zn	57
Obrázek 44 - graf srovnání výnosů a výtěžností.....	58
Obrázek 45 - graf srovnání kovnatostí.....	59
Obrázek 46 - graf srovnání obohacení	59

Seznam tabulek

Tabulka 1 - rozdělení pásem [30]	9
Tabulka 2 - základní chemicko-fyzikální vlastnosti Au	17
Tabulka 3 - základní chemicko-fyzikální vlastnosti Ag	19
Tabulka 4 - základní chemicko-fyzikální vlastnosti Cu	21
Tabulka 5 - základní chemicko fyzikální vlastnosti Zn	22
Tabulka 6 - procentuální zastoupení látek v jednotlivých druzích	24
Tabulka 7 - taxonomie: Pimentovník x Blahovičník	24
Tabulka 8 - flotace č. 1 - podmínky	30
Tabulka 9 - flotace č. 1 - hodnoty získané pro Ag	33
Tabulka 10 - flotace č. 1 - hodnoty získané pro Cu	33
Tabulka 11 - flotace č. 1 - hodnoty získané pro Au	33
Tabulka 12 - flotace č. 2 - podmínky	33
Tabulka 13 - flotace č. 2 – hodnoty získané pro Ag	36
Tabulka 14 - flotace č. 2 - hodnoty získané pro Cu	36
Tabulka 15 - flotace č. 3 - podmínky	36
Tabulka 16 - flotace č. 3 - hodnoty získané pro Ag	38
Tabulka 17 - flotace č. 3 - hodnoty získané pro Cu	38
Tabulka 18 - flotace č. 3 - hodnoty získané pro Zn	39
Tabulka 19 - flotace č. 4 - podmínky	39
Tabulka 20 - flotace č. 4 - hodnoty získané pro Ag	41
Tabulka 21 - flotace č. 4 - hodnoty získané pro Cu	41
Tabulka 22 - flotace č. 4 - hodnoty získané pro Au	41
Tabulka 23 - flotace č. 5 - podmínky	42
Tabulka 24 - flotace č. 5 - hodnoty získané pro Ag	44

Tabulka 25 - flotace č. 5 - hodnoty získané pro Cu	44
Tabulka 26 - flotace č. 6 - podmínky	44
Tabulka 27 - flotace č. 6 - hodnoty získané pro Ag	46
Tabulka 28 - flotace č. 6 - hodnoty získané pro Cu	46
Tabulka 29 - flotace č. 6 - hodnoty získané pro Zn	46